

DID. V. 8

MANUALI HOEPLI

LO SPETTROSCOPIO E LE SUE APPLICAZIONI

DI

RICCARDO A. PROCTOR

Prima Traduzione italiana con note ed aggiunte

DEL DOTTOR

FRANCESCO PORRO

Assistente al Reale Osservatorio Astronomico di Milano.

CON 71 INCISIONI E UNA CARTA DI SPETTRI



ULRICO HOEPLI

EDITORE - LIBRAJO

MILANO

NAPOLI

PISA

1886

LO SPETTROSCOPIO

E LE SUE APPLICAZIONI

RICCARDO A. HOEPLI

PROPRIETÀ LETTERARIA.



LIBRICO HOEPLI

MILANO

Milano, Tip. Bernardoni di C. Rebeschini e C.

PREFAZIONE DELL'AUTORE

Ho cercato di rendere questo trattatello di analisi spettroscopica chiaro e semplice per chi incomincia, ma in pari tempo accurato e completo, quanto me lo permette lo spazio così limitato — attenendomi, sotto questo rispetto, al piano già adottato nei miei Trattati elementari sull'Astronomia e sulla Geografia fisica. Per lasciare spazio ad argomenti che propriamente appartengono alla Spettroscopia, alcuni argomenti, che sono molto diffusamente trattati nei grandi lavori sullo Spettroscopio (e veramente in uno non più esteso del presente) furono svolti con tutta brevità. Per citare un solo argomento, mi pare che ampi resoconti delle varie invenzioni miranti ad ottenere intenso calore e luce, come quelli coi quali Schellen occupa le prime cinquantadue pagine del suo *Trattato di Analisi*

spettrale, siano inopportuni anche nei vasti lavori dedicati agli studiosi in genere, e siano quindi affatto fuori di luogo in un trattato elementare, di formato necessariamente ristretto. E per vero, io non so che cosa di utile si possa dire in un libro di testo circa le particolarità di costruzione di strumenti che l'osservatore (al quale solamente tali spiegazioni sarebbero utili) deve possedere ed usare. In questo caso, il dedicare alcuni minuti all'esame dell'istrumento sarà più utile che lo studiare per molte ore le spiegazioni del testo.

Invece di ciò, io ho procurato di dare un resoconto completo dei principii tutti dai quali dipende l'applicazione dello Spettroscopio, ed anche di tutti i principali metodi d'osservazione e dei loro risultati.

Debbo grande riconoscenza al signor J. Browning, l'ottico eminente, per aver potuto valermi di molti pezzi ad illustrare le varie forme di spettroscopio, ed i suoi annessi.

INDICE

PREFAZIONE DELL'AUTORE	Pag.	III
CAPITOLO I. Analisi della luce. Il sistema solare.	»	1
» II. Spazi neri nello spettro . . .	»	18
» III. Vari ordini di spettri. . . .	»	50
» IV. Interpretazione dello spettro so- lare	»	72
» V. Le prominente solari, la coro- na, ecc.	»	93
» VI. Spettri delle stelle, della luna, dei pianeti, delle comete, ecc.	»	113
Ammassi di stelle e nebulose .	»	130
Comete e meteoriti.	»	134
La luna ed i pianeti	»	141
» VII. Linee atmosferiche nello spet- tro solare	»	145
Lampi	»	147
Aurora boreale	»	149
» VIII. Misura dei moti di allontana- mento e di avvicinamento .	»	153

INDICE

Introduzione	1
I. La storia della lingua	1
II. La storia della lingua	1
III. La storia della lingua	1
IV. La storia della lingua	1
V. La storia della lingua	1
VI. La storia della lingua	1
VII. La storia della lingua	1
VIII. La storia della lingua	1
IX. La storia della lingua	1
X. La storia della lingua	1
XI. La storia della lingua	1
XII. La storia della lingua	1
XIII. La storia della lingua	1
XIV. La storia della lingua	1
XV. La storia della lingua	1
XVI. La storia della lingua	1
XVII. La storia della lingua	1
XVIII. La storia della lingua	1
XIX. La storia della lingua	1
XX. La storia della lingua	1
XXI. La storia della lingua	1
XXII. La storia della lingua	1
XXIII. La storia della lingua	1
XXIV. La storia della lingua	1
XXV. La storia della lingua	1
XXVI. La storia della lingua	1
XXVII. La storia della lingua	1
XXVIII. La storia della lingua	1
XXIX. La storia della lingua	1
XXX. La storia della lingua	1

CAPITOLO PRIMO.

ANALISI DELLA LUCE. IL SISTEMA SOLARE.

Lo spettroscopio è uno strumento che analizza la luce. Mediante esso i raggi di vario colore formanti un fascetto di luce bianca sono disgiunti in guisa da essere separatamente visibili nei loro effetti; la luce colorata, se composta, è analizzata in quei colori semplici che colla loro combinazione formano la tinta osservata; la luce realmente di un colore solo appare tal quale, ed il suo vero colore è esattamente determinato. Ma lo spettroscopio ha altri e più importanti usi. Infatti per mezzo suo noi possiamo riconoscere la struttura elementare dei corpi che splendono con tinte particolari, semplici o composte, e la natura dei corpi che, essendo solo in parte trasparenti, assorbono colori particolari: e persino le condizioni di tali corpi, come il calore, la pressione, il movimento, ecc., possono, in certi casi, essere determinate. In fine, l'analisi spettroscopica — cioè, la ricerca fatta collo spettroscopio

— dà un mezzo per risolvere molte questioni relative alla struttura ed alle condizioni dei corpi terrestri e celesti, ed ai più delicati problemi di investigazione chimica e microscopica, che sembravano affatto imperscrutabili prima che si inventasse siffatto metodo di ricerca.

La proprietà della luce donde principalmente dipende l'analisi spettroscopica, è la cosiddetta rifrangibilità, ossia la qualità per la quale la luce, quando nel suo cammino passa da un mezzo trasparente ad un altro di differente struttura o densità, è deviata più o meno dalla direzione della sua traiettoria. I raggi di diverso colore, essendo diversamente affetti quando sono così deflessi, o *rifratti*, come si dice, possono essere separati l'uno dall'altro, ove si sottopongano ad opportuni processi di rifrazione. Quello adunque che anzitutto dobbiamo fare, per ben comprendere l'opera dello spettroscopio, è di esaminare la natura e le leggi della rifrazione della luce, e di distinguere la rifrazione dagli altri processi cui la luce può sottostare.

Quando la luce cade sopra una superficie opaca levigata, i raggi sono riflessi giusta una semplice legge. Così se il raggio RI (fig. 1) cade sulla superficie levigata AB in I , esso è riflesso nella direzione IS , tale che l'angolo RIQ , fra IR e la perpendicolare IQ , sia uguale all'angolo SIQ , fra IS e la stessa perpendicolare. Di guisa che, se $ASRB$ è un semicerchio di centro I , l'arco AS sarà uguale all'arco BR . Una frazione di luce, tuttavia, cadendo sopra AB , illumina questa superficie e la rende visibile, perchè alcuni raggi

sono riflessi irregolarmente dalle varie particelle componenti la superficie. Quanto meno sarà levigata la superficie, tanto maggiore sarà la propor-

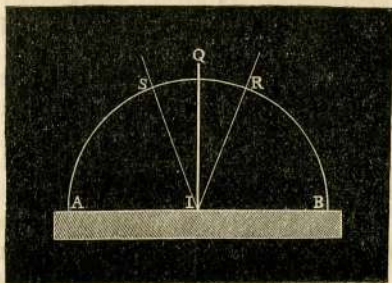


Fig. 1. — Riflessione della luce.

zione fra i raggi così dispersi e quelli regolarmente riflessi.

Una porzione di luce è pure assorbita dalla superficie, e la proporzione dei raggi così assorbiti dipende dalla natura della superficie stessa. Questa poi può assorbire più raggi di un colore che di un altro, e così i raggi per i quali essa è veduta non saranno più nella stessa proporzione, quanto al colore, in cui erano i raggi incidenti sulla superficie. È questo potere di assorbire più o meno de' diversi raggi colorati che dà alle differenti superficie il loro vario colore.

Se la sostanza sulla quale cade la luce non è opaca, ma più o meno trasparente, allora, pur essendo regolarmente riflessa una parte dei raggi che cadono sulla superficie, è dispersa un'altra parte, ed una porzione considerevole è rifratta

entro la sostanza trasparente, attraversandola in linea retta come dianzi, ma non più nella direzione di prima. Così, poniamo che il raggio RI (fig. 2), attraversato un mezzo trasparente, come l'aria, cada sopra un altro mezzo trasparente, ma più denso, come l'acqua, e sia QIP la normale alla superficie di separazione dei due mezzi. Allora la porzione non riflessa in I non procederà sul prolungamento di RI , ma sarà deviata in una traiettoria quale IS , l'angolo SIP essendo minore dell'angolo RIQ . Se, per lo contrario, SI è un raggio che attraversa un mezzo trasparente, e che in I cade sulla superficie di un altro mezzo trasparente di minor densità, allora la porzione non riflessa in I passerà nel mezzo più raro, non sulla sua direzione primitiva, ma sopra una traiettoria quale IR , l'angolo

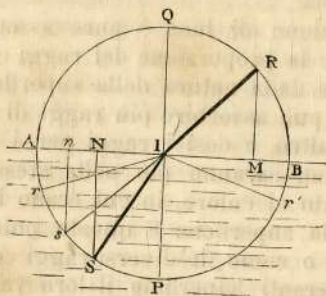


Fig. 2. — Riflessione totale alla superficie dell'acqua.

RIQ essendo più grande dall'angolo SIP . E benchè questa deviazione dovuta alla rifrazione non segua una legge costante per tutte le so-

stanze, come fa la deviazione dovuta alla riflessione, pure esiste una legge costante per la rifrazione fra due dati mezzi trasparenti. Così, poniamo che la traiettoria RI (fig. 2) sia nell'aria secca a densità e temperatura assegnate, ed IS nell'acqua distillata, pure a temperatura assegnata; descrivendo un circolo di centro I , e le perpendicolari RM , SN ad AB , abbiamo che, per ogni direzione di RI , il rapporto di NI ad MI rimane costante, ed uguale circa a quello di tre a quattro, per le sostanze nominate. Per due altre sostanze, il rapporto sarebbe ancora costante per ogni direzione di RI , ma non sarebbe lo stesso come per l'aria e l'acqua.

Se un raggio, procedendo lungo la traiettoria RI in un mezzo più raro è rifratto lungo la IS in uno più denso, reciprocamente un raggio procedente lungo la SI nel più denso sarà riflesso lungo la IR nel più raro. Ne consegue che, mentre i raggi incidenti sopra un mezzo più denso, in una direzione qualunque, saranno sempre parzialmente rifratti entro di esso, i raggi incidenti sopra un mezzo più raro, non saranno più rifratti, quando formino un angolo piccolissimo colla superficie. Così noi abbiamo veduto che, se il mezzo più denso APB è l'acqua, allora, prendendo IN eguale a tre quarti di IM e conducendo NS perpendicolare ad AB , otteniamo nella IS la direzione del raggio rifratto. E per quanto R si prenda vicino a B , il raggio rifratto non potrà mai avvicinarsi ad IA più di Is , di guisa che (conducendo sn perpendicolare ad AB) si abbia In uguale a tre quarti di IB . Ora il rag-

gio SI sarà rifratto nella direzione IR , ed un raggio in una direzione fra PI ed sI sarà rifratto nell'aria fra le direzioni IQ ed IB : ma un raggio che venga ad I in una direzione fra sI ed AI manifestamente non può essere rifratto secondo la legge descritta. Si trova che in simili casi la luce è interamente riflessa dalla superficie AIB , di guisa che un raggio come rI è riflesso nella direzione Ir' . Per tali raggi, la superficie AB agisce perfettamente come uno specchio.

Tutte queste proprietà si possono verificare sperimentalmente. Così, se rSP (fig. 2) è il fondo di un bacino d'acqua, un segno in S si vedrà da un occhio in R , come se il segno fosse in r , perchè i raggi da S raggiungeranno l'occhio nella direzione IR . Reciprocamente, un occhio sotto l'acqua in S vedrà un oggetto in R secondo la direzione SI . Un occhio sott'acqua in r e rivolto verso la parte della superficie che è al di là di I , a destra nella figura, non vedrà un oggetto collocato in R al disopra della superficie, ma ne vedrà uno, collocato in r' , al disotto. Lo stesso avverrà se l'occhio in r è al di fuori di un vaso di vetro contenente l'acqua. Così, se APB è un pallone di vetro contenente piccoli pesci, un occhio in r , al di fuori del pallone, vedrà nella direzione rI l'immagine riflessa di un pesce in r' , il quale sarà pur visibile presso la sua vera posizione, per mezzo di raggi provenienti direttamente da r' verso r . Quindi il pesce e la sua immagine nella superficie dell'acqua, che (osservata dal disotto) sembra uno specchio,

si vedranno appunto, come si possono vedere contemporaneamente una persona e la sua immagine in uno specchio.

Si vede chiaramente che l'effetto della rifrazione deve essere di separare raggi di diversa natura, che avevano prima una sola direzione, inquantochè tali raggi sono diversamente affetti da rifrazione. E per fare questo, noi non avremmo che a far proseguire, come in *I*, i raggi dopo la rifrazione, ciascuno sulla sua nuova strada, finchè fossero separati tanto quanto noi lo desi-

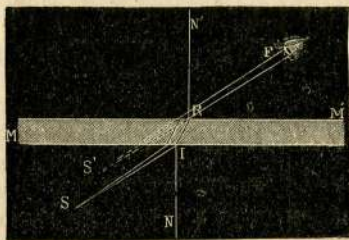


Fig. 3.

Rifrazione della luce attraverso ad un mezzo limitato da facce parallele.

deriamo, se la luce non fosse assorbita nell' attraversare il vetro, l'acqua, od ogni altro mezzo che noi adoperiamo; cosicchè, prima che una separazione sufficiente fosse raggiunta, non ci rimarrebbe quel tanto di luce che abbisogna per osservare.

Se noi prendiamo un mezzo trasparente, come il vetro, limitato da facce parallele, MM' (fig. 3), un raggio incidente, FR , sarà in R rifratto nella

direzione RI , e raggiungendo I , sarà di nuovo rifratto nella direzione IS parallela ad RF ; perchè, come un raggio procedente nella direzione IR seguirebbe la corsa RF , facendo colla perpendicolare RN' l'angolo FRN' , così il raggio RI , che fa colla superficie in I lo stesso angolo che IR fa colla superficie in R , deve essere rifratto in una direzione che faccia colla perpendicolare IN lo stesso angolo SIN . Dunque ancora qui noi non possiamo separare raggi di luce che, cadendo insieme in R , possono essere differentemente rifratti; perchè, quantunque durante la porzione IR del loro cammino essi siano divergenti, ridiventano paralleli in I , e quindi non più separati l'un dall'altro.

Ma se la superficie in I non è parallela alla superficie in R , questo parallelismo più non sussisterà: i raggi separati continueranno a divergere e noi avremo fatto almeno un passo verso l'analisi della luce. Fu tale ragionamento che indusse Grimaldi, e, dopo di lui, Newton, ad usare mezzi limitati da faccie non parallele nelle loro ricerche sperimentali sulla luce.

Noi siamo così condotti all'uso di prismi tri-

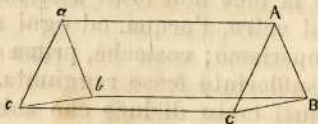


Fig. 4. — Il prisma.

angolari per l'analisi della luce. Il prisma è una figura in forma di cuneo (fig. 4). Esso è definito

da Euclide come un solido limitato da cinque faccie, due delle quali (ABC ed abc) sono triangoli uguali, simili e paralleli fra loro, mentre le tre rimanenti (Ab , bC e Ca) sono rettangolari. Di queste faccie, non ci fa bisogno di considerare *come superficie* le triangolari: queste possono essere incomplete e non levigate, oppure cangiate in tutto od in parte. Finchè le porzioni rettangolari sono perfette superficie, al meno dove la luce le attraversa, l'azione del prisma non sarà alterata. Anzi, nella maggior parte delle applicazioni che si fanno dei prismi all'analisi della luce si adoperano due soltanto delle faccie rettangolari. Le gocce di vetro di un lampadario sono buoni esempi di figure prismatiche.

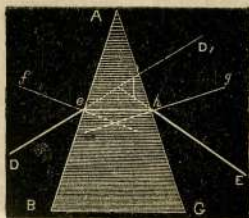


Fig. 5. — Andamento di un raggio attraverso un prisma.

La fig. 5 illustra il modo col quale il prisma agisce sulla luce che è rifratta nell'attraversarlo. ABC rappresenta una sezione del prisma parallela alle sue faccie triangolari. Il raggio De cadendo sulla AB in e , è deviato *verso* il prolungamento della perpendicolare fe nella direzione eh . In h è nuovamente deviato *dalla* perpendi-

colare hg nella direzione hE . La deviazione da DD' direzione originale del raggio luminoso, è in questo caso aumentata in h , e la deflessione totale è l'angolo fra DD' e la nuova direzione Eh . Qui AB ed AC sono le due faccie rettangolari del prisma, che entrano in giuoco. Lo spigolo A fra queste faccie è chiamato *lo spigolo rifrangente*; l'angolo fra esse l'*angolo rifrangente*; e la divergenza del raggio dopo l'emersione in h dal suo cammino prima dell'incidenza in e , l'*angolo di deviazione*.

Il primo caso generale di deviazione è illustrato nella figura 6, Qui il raggio incidente SI è ri-

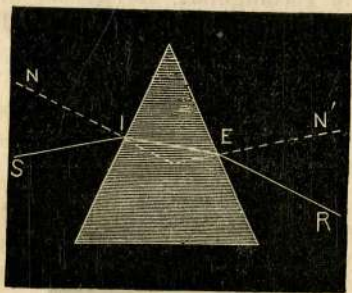


Fig. 6.

Primo caso generale di rifrazione attraverso un prisma.

fratto nella direzione IE ossia deviato *dallo* spigolo rifrangente, e nell'emergere in E è di nuovo rifratto nella direzione in ER , ossia *deviato dallo* spigolo rifrangente, di guisa che l'angolo di deviazione è la *somma* delle due deviazioni. Quando le deviazioni sono eguali, noi abbiamo il caso

speciale rappresentato dalla figura 5.¹ Nella figura 7 è illustrato il secondo caso generale. Qui il raggio incidente, essendo perpendicolare in *I*

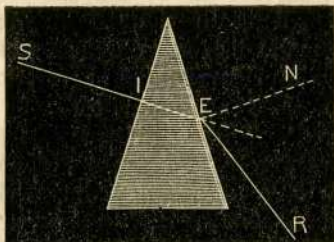


Fig. 7.

Secondo caso generale di rifrazione attraverso un prisma.

alla superficie non subisce rifrazione, ma passa oltre lungo la linea retta *S I E*. Emergendo in *E*, esso subisce rifrazione *deviando dallo* spigolo rifrangente, e l'angolo di deviazione è quello fra la nuova direzione *S E* e la *ER*. Così noi abbiamo in questo caso la medesima specie di rifrazione del precedente, cioè, la deviazione *dallo* spigolo rifrangente tanto all'incidenza, quanto all'emersione; ma qui la deviazione è prodotta in un solo posto, all'incidenza od all'emersione, a se-

¹ Per un errore singolare i casi illustrati nelle figure 6 e 7 insieme col caso speciale rappresentato nella figura 5 sono dati nello Schellen come i tre casi generali, omettendosi completamente il caso generale illustrato nella fig. 8. Nell'edizione inglese l'errore rimase senza correzione, ed è stato riprodotto in trattati elementari sullo spettroscopio.

conda del cammino percorso. Il terzo caso generale è illustrato nella figura 8, dove noi vediamo il raggio incidente SI deflesso *verso* lo spigolo rifrangente in I , ma *da esso* quando emerge in E , nella direzione ER , l'angolo di deviazione essendo l'eccesso della seconda deviazione sopra la prima. Poichè la traiettoria $SIER$ può essere seguita egualmente nella direzione $SIER$ e nella $REIS$, tutti i casi possibili di rifrazione attraverso un prisma sono illustrati nelle figure 6, 7 ed 8. Noi vediamo che in tutti i casi la deviazione è *dallo* spigolo rifrangente del prisma, perchè nei due primi casi la deviazione avviene soltanto *da* questo spigolo, e, benchè nel terzo caso in I si abbia deviazione *verso* di esso, è manifesto che la deviazione *da* esso in E è molto maggiore. ¹ In ogni caso adunque l'azione del prisma produce una deviazione *dallo* spigolo rifrangente.

Il prisma, adunque, possiede la proprietà richiesta per la separazione di raggi luminosi, se questi non sono tutti egualmente rifratti quando passano da un mezzo ad un altro (o, tecnicamente, se essi non hanno tutti la stessa rifrangibilità). Infatti in questo caso raggi uscenti dalla stessa sorgente luminosa, avendo direzioni differenti quando emergono dal prisma, continueranno sempre più ad allontanarsi l'un dall'altro. Così, rap-

¹ Perchè l'angolo interno EI è minore dall'angolo esterno EIB . Si vede facilmente dalla figura 2, e dalle spiegazioni di essa, che quanto maggiore è l'angolo fra SI e la superficie, tanto minore è la divergenza del raggio in I dal suo cammino originale SI .

(Nota dell'Autore.)

presenti AB (fig. 9) un fascetto di luce solare che passa attraverso un'apertura circolare in un diaframma SS' , P un prisma di vetro, e VR una superficie sulla quale i raggi vengono a cadere. Se il prisma P fosse rimosso, i raggi passerebbero in i , e vi formerebbero una piccola immagine ovale dell'apertura circolare praticata nel diaframma SS' . Essendo interposto il prisma, i

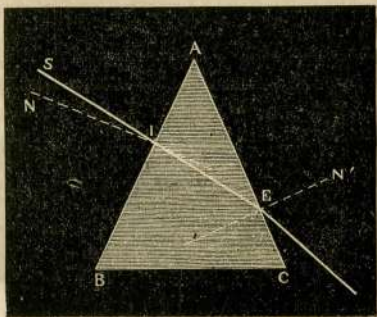


Fig. 8.

Terzo caso generale di rifrazione attraverso ad un prisma.

raggi saranno rifratti nel modo già descritto. Se essi sono tutti della medesima specie, saranno tutti rifratti nello stesso grado, ed il fascetto di luce sarà semplicemente deviato, come si vede deviata la linea brillante ABi' nella figura 9, e formerà una piccola immagine bianca ovale in i' . Ma se i raggi che compongono il fascetto sono diversamente rifrangibili, alcuni saranno maggiormente deviati, proseguendo dopo l'emersione verso V , I , o B , altri meno, proseguendo verso

R , O od Y ; e la luce, che altrimenti si sarebbe raccolta in i' , sarà invece dispersa lungo una striscia quale $VG R$. Newton trovò (come tuttavia Grimaldi aveva già annunciato) che ciò si verifica quando la luce solare è rifratta da un prisma, e che i raggi che così differiscono in rifrangibilità, differiscono eziandio per il colore, i

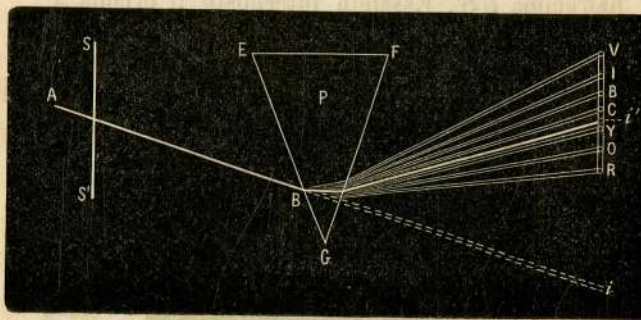


Fig. 9.

Azione di un prisma sopra raggi di luce diversamente colorata.

raggi più rifratti essendo i violetti, quelli meno i rossi, ed i colori corrispondenti a gradi intermedi di rifrangibilità essendo ordinatamente (dopo il violetto) l'indaco, l'azzurro, il verde, il giallo ed il ranciato. In altri termini, questo esperimento dimostrò che la luce solare consiste di raggi aventi sette diversi colori — violetto, indaco, azzurro, verde, giallo, ranciato e rosso — e che questi raggi decrescono in rifrangibilità secondo l'ordine col quale li abbiamo enumerati. La striscia di luce colorata che così si forma per l'azione del prisma

è chiamata lo *spettro prismatico*; l'estremo violetto dello spettro contiene la parte più rifratta della luce, mentre l'estremo rosso contiene la parte meno rifratta; ed i raggi verso l'estremo violetto sono comunemente chiamati *i raggi più rifrangibili*, quelli verso l'estremo rosso *i meno rifrangibili*. Di questo modo di dire conviene tenere nota accurata.

Se i raggi di uno dei sette colori dello spettro fossero tutti egualmente rifrangibili, noi troveremmo, nell'esperimento illustrato dalla fig. 9, che i raggi violetti farebbero una immagine ovale violetta, in V , della piccola apertura circolare che è in SS' ; i raggi indaco ne farebbero una indaco, in I ; gli azzurri, una azzurra, in B ; i verdi, gialli, ranciati e rossi formerebbero rispettivamente un'immagine verde, gialla, ranciata e rossa, in G, Y, O ed R . Ma Newton non trovò che ciò accada. Al contrario, lo spettro formò una striscia non interrotta coi colori dell'arcobaleno (come una striscia trasversale dell'arcobaleno), che si confondeva col nero alle estremità rossa e violetta. Egli quindi si accorse che tutti i raggi violetti non sono egualmente rifrangibili, e neppure gli indaco, e neppure quelli di ogni altro colore. Quindi, se un fascetto di raggi di un colore, ottenuto come nell'esperimento precedente, è fatto cadere sopra un altro prisma, questi raggi, essendo, come i raggi della luce solare, diversamente rifrangibili, possono essere separati. Così, se il diaframma in VR (fig. 9) è perforato dove cadono i raggi di ciascun colore, i raggi così fatti passare al di là possono essere

ricevuti sopra un altro prisma e dispersi per la seconda volta; talchè, invece dell'immagine che sarebbe caduta sul secondo diaframma soltanto per il secondo prisma, una immagine più allungata vi si forma più in alto. Ma tale immagine non presenta nuovi colori. Essa è interamente rossa, a cagion d'esempio, se il foro è praticato nella parte rossa dello spettro *VR*. Veramente una buona vista può riconoscere una debole variazione di tinta nel rosso, che tende verso il ranciato alla parte superiore, o più rifratta, del fascetto. Ma non appajono nuove tinte, soltanto una leggera gradazione dal rosso cupo della parte inferiore al rosso debolmente ranciato della superiore.

A Newton, tuttavia, balenò l'idea che, benchè i raggi di un dato colore non siano tutti egualmente rifrangibili, pure l'intera serie delle rifrangibilità fra il rosso estremo e l'estremo violetto non possa essere rappresentata nello spettro. Per esempio, può esistere una differenza definita fra il raggio rosso più rifrangibile ed il ranciato meno rifrangibile; ed in questo caso l'estensione del processo descritto nell'ultimo paragrafo mostrerà una lacuna nello spettro fra il ranciato ed il rosso. E se anche le lacune non saranno visibili, non esisterà ancora una gradazione regolare di luce da estremo ad estremo dello spettro. Dopo replicati e diversi esperimenti, specialmente modificando la forma dell'apertura, Newton trovò che lo spettro mostrava sempre una gradazione di tinte uniforme da estremo ad estre-

mo; ne concludse che tutti gli ordini di rifrangibilità, da quello dell'estremo violetto a quello dell'estremo rosso, fossero rappresentati nello spettro solare. Se ciò fosse realmente, il metodo di analisi che forma il soggetto del presente libro non avrebbe esistenza.

CAPITOLO II.

SPAZII NERI NELLO SPETTRO.

Wollaston fu il primo che riuscì a mostrare che lo spettro solare non è continuo, come Newton aveva dedotto dalle sue esperienze. È probabile che Newton avesse cercato soltanto lacune ben distinte. Wollaston usò un metodo per il quale i piccoli spazi mancanti nello spettro avevano una grande probabilità di essere scoperti; perchè, invece di ammettere la luce attraverso un'apertura circolare (o triangolare, od oblunga, o di qualunque altra forma adottata da Newton nelle altre sue esperienze), Wollaston ammise la luce attraverso ad una strettissima fessura parallela allo spigolo rifrangente. Sarà bene, considerando gli effetti di tale cambiamento, accennare ad una differenza nel metodo di Wollaston per osservare lo spettro. L'idea newtoniana di ricevere lo spettro sopra uno schermo, pur essendo conveniente per presentare lo spettro, non lo è per osservarlo. Wollaston osservava lo spettro attraverso il prisma.

Sia A (fig. 10) un punto luminoso; P un prisma, attraverso il quale l'occhio E osserva l'oggetto brillante A . Se i raggi di ogni colore avessero tutti uguale rifrangibilità, l'occhio in E vedrebbe un'immagine rossa in R per i raggi che avessero seguito il cammino $A r r' E$, un'immagine violetta in V per i raggi che avessero se-

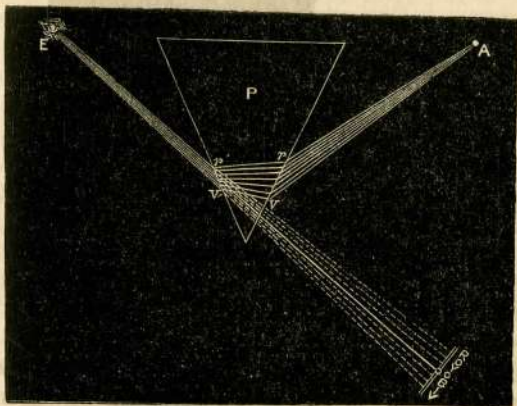


Fig. 10. — Esame diretto dello spettro prismatico.

guito il cammino $A v v' E$, ed immagini intermedie O (arancione), Y (giallo), G (verde), B (azzurro), e I (indaco), per raggi che avessero seguite le traiettorie intermedie indicate nella figura. Come le cose stanno realmente, invece di una serie di sette immagini in R, O, Y, G, B, I, V , l'occhio vedrà una serie mista formante lo spettro $R V$, nella quale il violetto appare più in basso, il rosso più in alto. In altri rispetti que-

st' immagine corrisponde esattamente a quella che appare sopra uno schermo. Per di più, questa immagine può essere osservata, qualora ciò occorra, con un telescopio, anzichè ad occhio nudo.

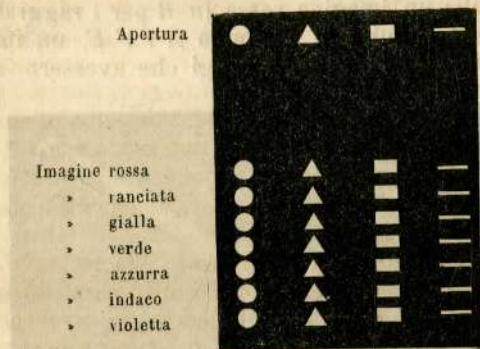


Fig. 11.

Effetto della configurazione della sorgente di luce sul carattere dello spettro.

Consideriamo ora l'effetto della *forma* della sorgente di luce, se sia un'apertura od un oggetto luminoso. Supponiamo di non avere che un'immagine per ciascuno dei sette colori dello spettro. Allora lo spettro sarà una serie di sette immagini colorate della sorgente di luce, disposte come nella figura 11. Qui noi vediamo sette cerchi, sette triangoli, sette oblunghi, e sette linee di luce, appunto come gli spettri rispettivi di una sorgente di luce circolare, triangolari, oblunga e lineare. È chiaro che lo spazio fra due immagini lineari successive è molto più grande che quello fra due immagini successive circolari,

triangolari, od oblunghe. In altri termini, vi è spazio per un numero molto maggiore di immagini intermedie. Quindi, se raggi di certi gradi di rifrangibilità mancano davvero, di guisa che lo spettro, anzichè essere formato da una serie perfetta di immagini che si sovrappongono, sia veramente incompleto nelle sue parti, sarà molto più probabile scoprire questo fatto se noi usiamo una sottile linea luminosa per sorgente di luce, o se ammettiamo la luce attraverso una sottile fessura, di quello che se la sorgente di luce abbia considerevole ampiezza nel senso della lunghezza dello spettro.

Wollaston tentò l'esperienza. Ammettendo la luce attraverso una stretta fessura, parallela allo spigolo rifrangente del prisma, egli osservò lo spettro nella maniera illustrata dalla figura 11. Egli trovò che lo spettro non è continuo, ma attraversato da certe linee nere, che sono perpendicolari alla sua lunghezza. In altre parole, manca la luce di certi gradi definiti di rifrangibilità nel fascio luminoso solare.

Egli non ispinse più oltre questa investigazione, supponendo, senza dubbio, che la scoperta avesse più singolarità che valore. Egli non aveva ragione di sospettare che la proprietà da lui trovata indicasse una particolarità della luce solare. Ancor meno egli avrebbe supposto che, quando questa proprietà fosse ricondotta alla sua origine, essa avrebbe ajutato a rivelare la vera costituzione della massa solare.

Ma Fraunhofer, nel 1814, esaminò queste linee nere con tale cura ed attenzione, che, in me-

moria de' suoi lavori, esse furono d'allora in poi chiamate linee di Fraunhofer. Usando per sorgente di luce una fessura molto più sottile di quella adoperata da Wollaston, e studiando l'immagine, formata come nella figura 11, con un telescopio invece che ad occhio disarmato, egli trovò molti spazii neri dove Wollaston non ne aveva veduti che pochi. Infatti egli non contò e registrò meno di 576 linee nere.

Le linee principali nello spettro solare sono indicate nella figura 12: e poichè si richiamano continuamente le linee, come ivi sono chiamate per lettera, chi studia deve notare accuratamente

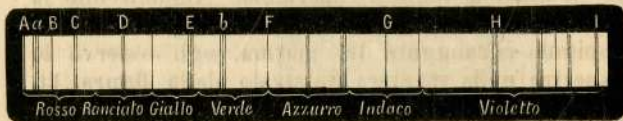


Fig. 12. — Le linee nere nello spettro solare.

la loro posizione nello spettro. *A* è una grossa linea vicinissima all'estremo rosso dello spettro. *B* è una linea grossa ed alquanto larga nel rosso. Fra *A* e *B* è un gruppo di parecchie linee, chiamato *a*. *C* è una linea nera e ben marcata. Fra *B* e *C*, Fraunhofer contò nove linee sottili; circa trenta fra *C* e *D*. *D* consiste di due grosse linee serrate insieme. Fra *D* ed *E*, Fraunhofer contò ottantaquattro linee. *E* è un gruppo di parecchie linee, la più grossa delle quali è quella di mezzo. In *b* sono tre grosse linee, delle quali le due più lontane da *E* sono assai vicine fra loro. Fra *E* e *b* Fraunhofer contò ventiquattro linee, e fra

b ed *F* più di cinquanta. Le linee *F*, *G* ed *H* sono ben definite. Fra *F* e *G*, Fraunhofer contò 185 linee, fra *G* ed *H*, 190, e molte ne trovò fra *H* ed *I*, all'estremo violetto dello spettro. Rammento al lettore l'importanza di notare la posizione delle linee indicate con lettere nello spettro, perchè queste linee servono costantemente di riferimento. Voglia dunque egli ricordare, che *A*, *B* e *C* sono nella parte rossa dello spettro; *D* nel ranciato-giallo; *E* nel giallo-verde; *F* nel verde-azzurro; *G* nell'indaco; ed *H* nel violetto.

Richiamiamo ora ciò che sono realmente queste linee nere. Esse sono lacune nello spettro, indicanti l'assenza di raggi di certe rifrangibilità dal fascio di luce solare. Lo spettro rappresentato dalla figura 12 è formato veramente da una serie di immagini della sottile fessura attraverso la quale la luce solare è ricevuta. La parte rossa della luce, co' suoi vari gradi di rifrangibilità, fa una serie di immagini rosse, la ranciata una serie di immagini ranciate, e così via. Ma, poichè la luce rossa non contiene *tutti* i gradi di rifrangibilità compresi entro i suoi limiti, certe immagini rosse, che si presenterebbero sono mancanti, lasciando spazi neri, come *A*, *a*, *B* e *C*; analogamente certe immagini mancano nella parte ranciata dello spettro, altre nella gialla, e così via.

Fraunhofer cercò ancora se le linee nere non fossero per avventura dovute a particolarità nella sostanza formante il prisma. Ma trovò che esse possono vedersi con prismi di ogni qualità di vetro e di cristallo, ed anche con prismi for-

mati da differenti fluidi racchiusi in recipienti prismatici.

Egli esaminò poi la luce solare riflessa in vari modi, dalla luna, dai pianeti, dalle nubi, dal cielo, da sostanze terrestri, e così via. In ogni caso egli trovò le medesime linee che egli aveva vedute nello spettro della luce solare diretta. Studiò lo spettro del sole quando è molto vicino all'orizzonte, e vi trovò molto debole il violetto, e parecchie nuove linee quà e là nelle varie parti. Inoltre esaminò la luce delle stelle fisse. Trovò che, quantunque ogni stella dia uno spettro che mostra i colori prismatici, nessuno di questi spettri è esattamente uguale allo spettro solare. Alcune linee dello spettro solare mancano negli spettri stellari, altre vi sono meno fortemente marcate; e certe linee che si vedono negli spettri stellari, sono assenti dallo spettro solare. Pare che due stelle non diano mai esattamente lo stesso spettro. Egli trovò poi, che, quando la sorgente di luce è la fiamma di una candela o di una lampada, lo spettro mostra solamente due linee nere, o piuttosto una linea doppia. al posto della linea doppia *D* dello spettro solare.

Prima di procedere a considerare i risultati delle ricerche ulteriori su queste linee nere dello spettro solare e degli altri spettri, sarà bene che qui descriviamo i metodi coi quali è aumentata la lunghezza dello spettro, senza che ne soffra la purezza.

Se la luce non fosse variamente rifrangibile, a seconda del suo colore, ma fosse tutta rifratta

in pari grado, allora noi, guardando un oggetto attraverso ad un prisma, vedremmo ancora l'oggetto confuso, ma non coi colori prismatici. Infatti da ogni punto dell'oggetto partirebbe un pennello divergente di raggi, e questo pennello, dopo essere stato due volte deviato nel suo passaggio attraverso il prisma, non divergerebbe più da un solo punto; di guisa che, invece di vedere per ciascun punto dell'oggetto un punto corrispondente nell'immagine, noi avremmo una macchietta rotonda di luce, e l'immagine composta di siffatte macchiette di luce sarebbe corrispondentemente confusa. La sola eccezione a questa regola ha luogo quando il pennello segue un cammino come $DehE$ nella fig. 5, dove i due tratti De ed hE sono egualmente inclinati sulle faccie del prisma in I ed E . Allora il pennello emergente esce da un punto solo (o presso a poco). In questo caso si dice che il prisma è usato coll'angolo di minima deviazione, perchè la deviazione è minore che in ogni altra posizione. Ora, se noi esaminiamo uno spettro come quello della figura 10, è manifesto che, ancorchè una parte possa essere esaminata sotto quest'angolo di deviazione minima (la parte G nel caso ivi illustrata), ed essere quindi vista chiaramente, tutto il resto dovrà essere osservato sotto un angolo diverso, dunque meno distintamente. Questa non era cosa molto importante negli esperimenti di Newton o di Wollaston, dove i pennelli non seguivano un lungo cammino attraverso i prismi, e dove l'immagine non era esaminata molto dappresso. Ma, quando si debba ottenere mag-

giore dispersione di luce, accrescendo l'azione prismatica, e quando l'immagine prismatica si debba esaminare telescopicamente, diventa sommamente desiderabile che si immagini qualche metodo per dare uno spettro puro dappertutto, e non soltanto in qualche parte speciale. Questa difficoltà fu affrontata dall'ottico Simms, nel 1830. Egli tolse di mezzo semplicemente la divergenza dei

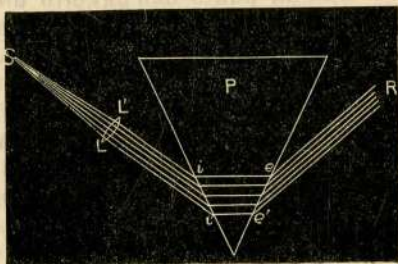


Fig. 13.

Metodo di Simms per purificare lo spettro solare.

raggi luminosi, collocando una lente convergente in una posizione tale da rendere paralleli i raggi stessi. Così sia *P* (fig. 13) il prisma, *S* un punto della sorgente luminosa. *SL* un pennello divergente di luce emanata da *S*. Allora, se una lente convessa *LL'* è collocata in guisa che il pennello, dopo averla attraversata, si componga di raggi paralleli, questi raggi paralleli, cadendo in *ii'*, sulla superficie *ii'* del prisma, sono egualmente rifratti, epperò continuano paralleli finchè giungono in *ee'*, dove essi sono egualmente rifratti all'emergenza, e così il fascio emergente *ee'R*

consiste di raggi paralleli. Questo fascio continuerà ancora parallelo dopo essere rifratto da un secondo prisma, o da un numero qualunque di prismi, e l'immagine di S sarà veramente veduta per mezzo di fasci che hanno attraversato uno o più prismi. Ciò essendo sensibilmente vero per tutti i raggi di tutti i colori, l'intera serie di immagini di S formanti lo spettro si formerà con precisione; ossia, in altre parole, tutte le parti dello spettro saranno vedute con eguale chiarezza, ¹ La lente $L L'$ usata per tale bisogna si chiama la *lente di collimazione*. La figura 14 mostra come si adoperi un telescopio in combinazione con una lente di collimazione. La luce emessa dalla sorgente luminosa, attraversata la fessura che si vede all'estremità del tubo di sinistra, è ridotta al parallelismo dalle lenti di questo tubo, e, attraversato il prisma, cade sull'obbiettivo del telescopio a destra, ed è ricevuta appunto come i raggi provenienti da un oggetto lontano sono ricevuti dall'obbiettivo e dall'oculare di un telescopio. Confrontando la figura 13 colle figure 10 e 14, si osserverà che l'uso di una lente di collimazione e di un telescopio per

¹ Persone che non conoscono le leggi dell'ottica suppongono talora che la scoperta di Newton sulla convenienza di adoperare l'angolo di minima deviazione sia importante per lavori moderni collo spettroscopio. Così io ho veduto asserito in un trattato elementare sullo spettroscopio, che « il nostro spettroscopio dipende » *inter alia* da questa scoperta. Ma in realtà l'invenzione della lente di collimazione toglie interamente di mezzo la difficoltà, che Newton affronta a mezzo, usando il prisma sotto l'angolo di deviazione minima, e permette all'osservatore di usare il prisma sotto altri angoli con eguali effetti.

(Nota dell'Autore.)

osservare non è altro che un artificio per purificare dapprima lo spettro RV della fig. 10, ed osservarlo quindi con sussidi telescopici opportuni.

Quando i raggi furono resi paralleli per mezzo di una lente di collimazione, qualunque numero di prismi può essere adoperato ad accrescere la dispersione dei raggi. L'effetto di parecchi pri-

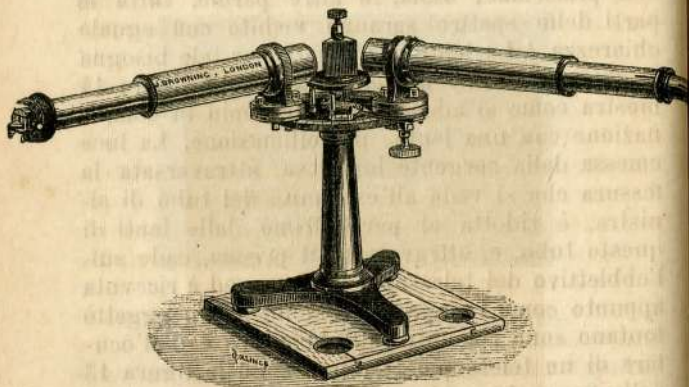


Fig. 14. — Spettroscopio ad un solo prisma, con tubo collimatore e telescopio per osservare.

smi sull'accrescere la dispersione è illustrato nella fig. 15, dove la luce ricevuta per una fessura SS' si suppone fatta girare attraverso una batteria di quattro prismi, con aumento di dispersione a ciascuno, finchè finalmente essa forma uno spettro sul diaframma ab . Nella figura sono messe in evidenza soltanto sette immagini spettrali della fessura — V , l'immagine violetta, dai

raggi che furono maggiormente rifratti; *R*, la rossa, da quelli che lo furono meno, e le altre in posizioni intermedie. Si vedrà che tale metodo di usare molti prismi corrisponde in certo modo all'effetto di allontanare sempre più il diaframma dalla sorgente luminosa nell'esperienza originale di Newton. Benchè gli spettroscopisti non si valgano di alcun diaframma, ma ricevano i raggi emergenti in un telescopio, come si vede nella fig. 14, ci converrà in seguito riferirci allo spet-

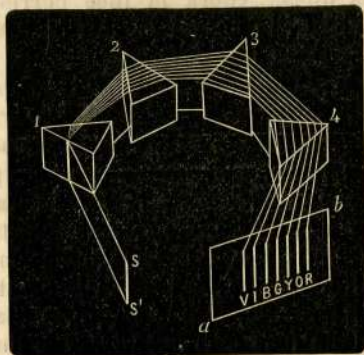


Fig. 15.

Accrescimento di dispersione per mezzo di parecchi prismi.

tro, supponendolo ricevuto sopra un diaframma, come nella figura 15.

È facile vedere perchè con aumento di dispersione le linee nere siano messe meglio in evidenza. Se l'aumento di dispersione non facesse altro che allungare lo spettro, senza modificarne la natura, ben poco se ne guadagnerebbe. Ma è

facile vedere che avviene qualche cosa di meglio. Ricordiamo che nello spettro noi abbiamo una serie di immagini della fessura, e che la nostra probabilità di scoprire l'assenza di certi raggi dal fascio solare dipende dal riconoscere nello spettro uno spazio nel quale non si sia formata alcuna immagine. Rappresenti ora *a b c* (fig. 16, I) una piccola parte dello spettro, quale sarebbe se la fessura, anzichè avere una larghezza definita, per quanto piccola, fosse puramente una linea. Allora la luce corrispondente ai due limiti dello spazio oscuro *b*, forma nello spettro reale due immagini della fessura, come in *B*, dove queste immagini hanno tale ampiezza da toccarsi, senza lasciare spazio oscuro frammezzo a loro. Supponiamo ora invece di aumentare il potere dispersivo, e di ottenere uno spettro di maggiore lunghezza, come in II. Allora le parti *a b c* del vero spettro, cioè di uno spettro assolutamente puro, sono corrispondentemente aumentate di lunghezza; mentre nello spettro, come è veduto realmente, le due immagini della fessura, prodotte dalla luce corrispondente ai limiti dello spazio oscuro *b*, sono formate come in *B* e *B'*, non più larghe di prima, perchè la loro larghezza è quella della fessura, ma portate a maggior distanza l'una dall'altra, tanto che uno spazio oscuro appaja ora in mezzo.

Noi vediamo adunque come sia importante l'accrescere il potere dispersivo di una batteria di prismi per esaminare la luce solare, o qualunque luce nello spettro della quale siano numerose le linee nere. Così infatti, come è illustrato

nella figura 16 I e II, si possono vedere linee oscure, che altrimenti sfuggirebbero alla scoperta. Ed ancora, due linee molto vicine fra loro, che apparirebbero come una con debole potere dispersivo, possono mostrarsi chiaramente separate con un potere maggiore. E, come noi ora

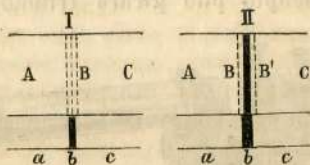


Fig. 16. — Effetti dell'aumento di dispersione.

vedremo, un vantaggio ancor più importante dell'aumentata dispersione in certi rami di ricerca spettroscopica, consiste nel mezzo così fornito di determinare la vera posizione di certe linee particolari nello spettro.

Per assicurarci uno spettro che abbia la maggiore purezza possibile e mostri molte linee nere, noi dobbiamo avere anzitutto una fessura attraverso la quale la luce sia ammessa quanto più sottile è possibile, poi una lente di collimazione che riduca i raggi paralleli, quindi una batteria di parecchi prismi, ed infine un telescopio per esaminare lo spettro.

Una batteria di due prismi costruita per soddisfare a queste esigenze è quella della fig. 17. Sulla sinistra noi vediamo il tubo di collimazione, che reca alla sua estremità di sinistra un congegno per formare un'apertura di qualsivoglia ampiezza. Nella figura si suppone la fessura

verticale, e la piccola testa di vite sulla sua destra è girata per adattare la fessura a qualsivoglia ampiezza (vedi fig. 40). Sulla tavoletta circolare di mezzo si vedono i due prismi, e le viti che li saldano in qualsivoglia posizione. Sulla destra è il telescopio per osservare lo spettro. Questo telescopio può girare (rimanendo oriz-

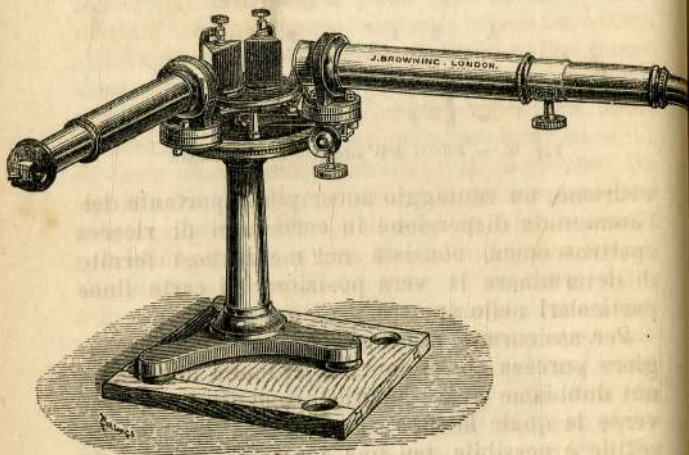


Fig. 17. — Spettroscopio con due prismi.

zontale), portato da una spranga che si vede al disotto dei prismi, e così le diverse parti dello spettro possono essere esaminate. Delle due teste di vite che si vedono sotto il telescopio, vicino al suo estremo più grande, una ne governa i piccoli movimenti, l'altra serve ad innestare il telescopio. La terza vite verso la parte dell'oc-

chio, è per l'adattamento focale, a rendere lo spettro quanto più chiaro è possibile all'occhio dell'osservatore.

L'istrumento usato da Kirchhoff, al quale la scienza deve la grande scoperta che ha portato l'analisi spettroscopica allo stato attuale, conteneva quattro prismi.

È evidente che, dove si adoperano parecchi prismi ad assicurare una considerevole dispersione, soltanto una parte dello spettro può essere vantaggiosamente studiata. Una certa porzione dei raggi emergenti dall'ultimo prisma della batteria cade centralmente sull'obbiettivo del telescopio. Il resto cade obliquamente, e dà una immagine meno distinta del pari che meno luminosa della parte dello spettro cui appartiene. Quindi è desiderabile di avere una disposizione, per la quale ogni parte dello spettro possa essere veduta egualmente bene per raggi che, attraversata simmetricamente la batteria, cadano centralmente sull'obbiettivo del telescopio osservante. Per fare questo, non solo lo stesso telescopio, ma anche i prismi debbono essere mobili, perchè, quantunque non si esiga più di avere i prismi disposti alla deviazione minima per assicurare l'immagine distinta, è chiaro che quando essi sono così disposti si ottiene la massima quantità di luce attraverso i prismi.

Per ovviare a questa difficoltà si sono suggeriti vari disegni per comunicare opportuni movimenti ai prismi; il migliore di tutti (effettivamente il solo che, con una piccola modificazione

che ora descriveremo, adempia esattamente la condizione richiesta della minima deviazione) è quello illustrato nella figura 18, dovuto all'ingegno inventivo del signor Browning, membro della Società astronomica reale, ed ottico emi-

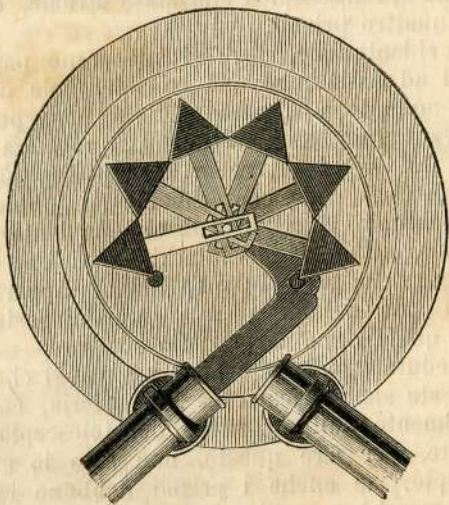


Fig. 18. — Spettroscopio automatico di Browning.

nente. Di sei prismi, il primo è attaccato alla lastra di base; gli altri sono connessi mediante i loro spigoli nel modo esposto dalla figura, essendo il telescopio di osservazione (il tubo a sinistra) attaccato ad uno spigolo del sesto prisma. A ciascun prisma è attaccata una spranga di legno, quadrata alla sua base, ed un asse mobile centrale passa per tutte le spranghe. È facile

vedere che, quando il telescopio è fatto girare (guidato da una spranga) i prismi si muovono in guisa da avere sempre le loro basi equidistanti dall'asse centrale, e così da formare una batteria simmetrica.

La fig. 19 mostra l'istrumento come è fatto ora

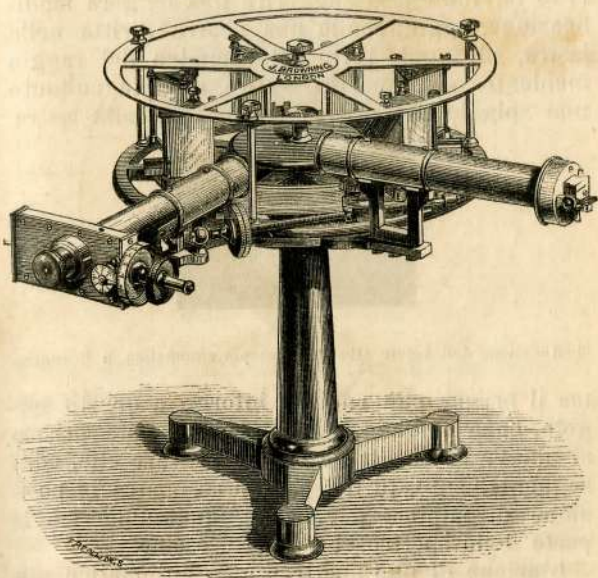


Fig. 19. — Spettroscopio di Browning.

dal signor Browning. Il lettore ne può distinguere senza difficoltà le diverse parti.

Nella forma originale di questo spettroscopio ad adattamento automatico il primo prisma era

fisso e, quantunque la batteria fosse per suo conto sempre simmetrica, pure, finchè il primo prisma restava in una posizione invariata, era manifestamente impossibile la minima deviazione, e quindi la massima illuminazione per tutte le parti dello spettro. La considerazione di questo fatto mi indusse a suggerire una leggera modificazione, aggiungendo una sbarra dritta nella lastra, ad angolo retto col cammino del raggio incidente sul primo prisma. Se, dunque, soltanto uno spigolo del prisma è attaccato alla lastra,

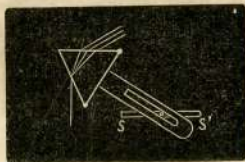


Fig. 20.

Modificazione dell'Autore allo spettroscopio automatico di Browning.

ma il prisma può ruotare intorno a questo spigolo, come si vede nella fig. 20, questo prisma si muove cogli altri, e si può provare che, conseguentemente, tutti i prismi assumono la posizione di minima deviazione, qualunque sia la parte dello spettro che è sotto esame.

L'azione di uno spettroscopio automatico costruito secondo questo disegno è illustrata nella fig. 21, dove EE' è il fascio emergente.

Benchè siffatto movimento automatico ponga una batteria di prismi nella condizione più favorevole per mostrare lo spettro colla massima dispersione, è pur chiaro che esiste un limite alla

dispersione che si può ottenere con una sola batteria. Così, se la luce è stata deviata lungo un circolo quasi completo di prismi, come nella fig. 21, la luce emergente EE' sarà intercettata dal primo prisma della batteria, e questa circo-

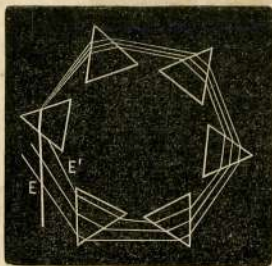


Fig. 21.

Dimostrazione della limitata forza dispersiva di una semplice batteria circolare di prismi.

stanza limita la dispersione che così ne può essere data.

Il potere dispersivo di una batteria di prismi può essere raddoppiato, facendola attraversare due volte dai raggi. Questo si può fare, come è esposto nella fig. 22, e facendo riflettere dalla faccia DC i raggi sovr'essa incidenti, i quali poi attraversano di nuovo la batteria e possono cadere sulla lente di collimazione. Si richiede un'altra riflessione perchè la luce esca normalmente all'asse del tubo di collimazione verso un oculare opportunamente collocato per osservarlo. Un metodo migliore, ma più costoso, è quello di prendere tutti i prismi della batteria di doppia

altezza, e di usare per ultimo un mezzo prisma, come CDE nella fig. 23, al quale sia aggiunto un prisma rettangolo CFD . I raggi che attra-

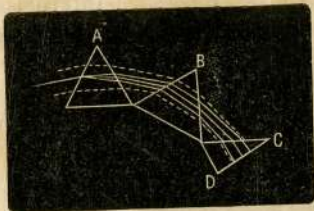


Fig. 22.

Metodo per far passare due volte i raggi attraverso ad una batteria di prismi.

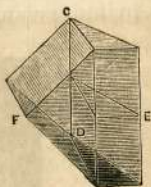


Fig. 23.

Prisma per alzare il livello dei raggi.

versano la faccia ED sono totalmente riflessi in alto, dalla faccia FD prima, poi orizzontalmente dalla faccia CF , in guisa da passare oltre attraverso la faccia EC (che forma con ED la faccia unica CED). Oltre all'azione del prisma composto CEF nel portare i raggi ad un livello più alto, la dispersione prodotta al passaggio dei raggi attraverso le due metà della faccia CED è eguale a quella prodotta dal solo prisma di cui ECD è la metà.

Ma nell'esaminare la luce solare non si ha quasi limite alla dispersione che si può usare, senza che la luce non rimanga ancora più che sufficiente. È desiderabile adunque di avere una batteria ancor più forte di quella che faccia percorrere ai raggi un circolo completo, con ritorno. Per questo io ho imaginato il progetto illustrato nella figura 24. Qui il metodo automatico è esteso

ad una seconda batteria, mentre uno dei metodi illustrati nelle fig. 22 e 23 per l'inversione dei raggi, è adoperato a raddoppiare il potere dispersivo della batteria doppia così ottenuta. *AB*

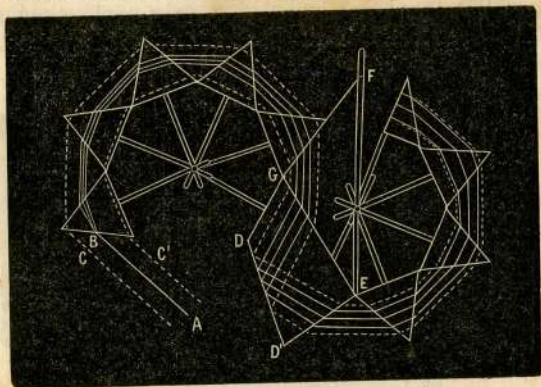


Fig. 24. — Doppia batteria di prismi dell'Autore.

è la luce incidente sul primo prisma della prima batteria, ed il cammino della luce può essere seguito lungo la triplice serie di linee che attraversano la duplice serie di prismi, dove le linee punteggiate di ritorno indicano il cammino dei raggi invertiti, che emergono in *CC'*. Il grosso prisma intermedio *DE* appartiene ad entrambe le batterie. Non si perde luce nel passare da una batteria all'altra, perchè la riflessione in *DD'* è totale. Questa doppia batteria doppia ha un potere dispersivo eguale a quella di diciannove prismi equilaterali.¹

¹ È forse una circostanza alquanto singolare, nella storia di que-

Esistono pure altri metodi, coi quali si può assicurare la dispersione senza questo continuo inflettere dei raggi in una direzione che tende a portare il cammino dei raggi (come nella figura 25) fuori del loro senso originario. Così, se noi usiamo un prisma rettangolo, quale abc nella fig. 25, facendo passare il fascio di luce per la

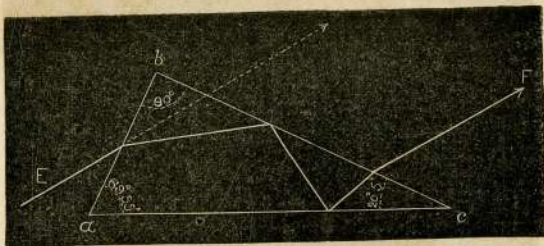


Fig. 25. — Spettroscopio di Herschel a visione diretta.

via indicata dalla spezzata EF , noi otteniamo dispersione senza deviazione. Si ha rifrazione, e conseguente dispersione, quando la luce entra dalla faccia ab , riflessione totale sulle facce bc ed ac , e rifrazione, con dispersione ulteriore, quando i raggi emergono dalla faccia bc ; e le

sta batteria foggiate ad S , che, quando io la imaginai, non aveva mai veduto uno spettroscopio, il che mostra non essere assolutamente necessario di aver maneggiato ed adoperato uno strumento scientifico per potere imaginare un'estensione pratica delle sue applicazioni. Il sig. Browning fece una batteria su questo disegno, ed il sig. M. Spottiswoode, che aveva comperato l'istrumento, lo prestò al signor Huggins. Volle il caso, per un'altra singolare coincidenza, che appunto con questo strumento, io vedessi per la prima volta lo spettro (od almeno uno spettro bene disperso).

(Nota dell'Autore.)

due riflessioni hanno appunto corrette le deviazioni prodotte dalle due rifrazioni. Di più, noi possiamo combinare due prismi quali abc della fig. 25, in guisa (v. fig. 26) che, il raggio emergente non sia puramente parallelo al raggio incidente, ma coincida effettivamente con esso in direzione. Disgraziatamente, nella pratica nascono inconvenienti dal troppo grande numero di rifrazioni e riflessioni, e dalla difficoltà di fare gli angoli a e c esattamente corretti.

Un progetto praticamente più opportuno fu ideato da Amici. Esso è basato sul fatto, che i

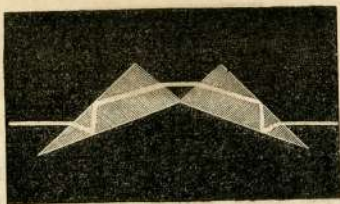


Fig. 26. — Combinazione di prismi di Herschel-Browning.

poteri rifrangenti di differenti mezzi non sono proporzionali ai loro poteri dispersivi. Se la deviazione prodotta da un prisma tenesse una proporzione sempre costante colla dispersione dei raggi, qualunque fosse la sostanza del prisma, allora noi non potremmo con ogni combinazione di prismi vedere lo spettro di un oggetto luminoso, mirando ad esso direttamente, perchè il puro fatto che non vi fu deviazione dei raggi emanati dall'oggetto implicherebbe che non vi fu dispersione. Ma poichè si trovò che questa

proporzione non sussiste, noi possiamo ottenere dispersione senza deviazione.

Così un prisma di *flint glass* dà, per una data deviazione del raggio medio, uno spettro di gran lunga maggiore che un prisma di *crown glass*. Dunque, se noi volessimo correggere la deviazione prodotta da un prisma di *flint glass* mediante un prisma di *crown glass*, collocato in guisa da produrre una deviazione eguale nella direzione opposta, noi avremo ancora un residuo di dispersione non corretta; in altre parole, uno spettro sarebbe visibile. Il prisma composto di



Fig. 27. — Prisma composto di Amici a visione diretta.

Amici, rappresentato nella fig. 27, raggiunge questo scopo colla minor perdita possibile di luce. Vi è un prisma P' di *flint glass* fra due prismi di *crown glass*, P e p , ai quali è saldato con balsamo del Canada, cemento trasparente. I raggi di rifrangibilità media non subiscono deviazione, tantochè è possibile mirare direttamente ad un oggetto luminoso attraverso il prisma composto. I due prismi P e p producono dispersione in un senso, il prisma P' ne produce una maggiore nel senso opposto, e così si vede uno spettro, quale sarebbe prodotto da un prisma collocato come P' , ma di un angolo rifrangente molto minore.

Cinque prismi possono pure essere combinati

in una sola serie a visione diretta come appare dalla fig. 28. Qui il primo, il terzo ed il quinto



Fig. 28.

Estensione di Janssen del metodo di Amici a visione diretta.

prisma sono di *crown glass*, gli altri due, *P*, e *P*, di *flint glass*. Questa disposizione fu adottata per la prima volta da Janssen.

Browning combina sette prismi in maniera analoga, formando uno spettroscopio di fattura pregevolissima, considerate le sue piccole dimen-



Fig. 29. — Spettroscopio miniatura di Browning.

sioni. L'istrumento completo è rappresentato nella fig. 29: il prisma composto è nel tubo a scorrimento il cui estremo si vede verso sinistra. La fessura si vede sulla destra, e può essere allargata ed accorciata, girando l'anello a testa graduata che è dalla stessa parte dello spettroscopio. Tutto l'istrumento è lungo circa nove centime-

tri, così da potersi mettere nel taschino del panciotto.

I prismi composti a visione diretta possono combinarsi con un prisma semplice per formare una batteria. Talora si usano anche prismi composti, i quali, benchè non diano visione diretta, danno dispersione considerevole per piccole deviazioni, cosicchè se ne possa formare una potentissima batteria senza portare i raggi emergenti ad un angolo troppo grande coi raggi in-

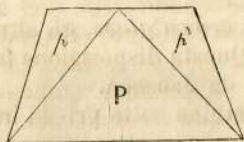


Fig. 30.

Prisma composto per assicurare considerevole dispersione con piccola deviazione.

cidenti sul primo prisma. Un prisma composto di questa fatta è rappresentato dalla fig. 30. *P* è un prisma di *flint glass*, e *p p'* sono due prismi di *crown glass*. Questi due prismi, senza troppo



Fig. 31. — Prisma composto del Dott. Rutherford.

ridurre la dispersione dovuta a *P*, riducono considerevolmente la deviazione.

La figura 31 presenta una combinazione ideata dal dott. Rutherford di Nuova York, per il quale

il sig. Browning costruì un prisma composto di questa fatta.

Io ho disposto una combinazione di prismi composti sullo stesso disegno della mia doppia batteria automatica ad azione ripetuta (fig. 24). Uno spettroscopio costruito secondo questo disegno sarebbe il più potente che sin qui si sia fatto.

Il metodo di invertire la direzione di un fascio, portandolo ad un livello più alto, mediante un prisma come quello della fig. 23, può manifestamente essere ripetuto, portando il fascio sopra e sotto nella medesima batteria, finchè si sia raggiunta una dispersione sufficiente. Ma, pur essendo in tal modo semplificata l'azione automatica, non sarebbe facile costruire gli alti prismi necessari.

Un prisma adoperato come nel caso illustrato dalla fig. 7, quando la luce cada perpendicolarmente alla prima faccia, ingrandisce un oggetto veduto attraverso ad esso con luce di un colore, ma l'ingrandimento ha luogo in una sola direzione, cioè in quella corrispondente alla lunghezza dello spettro. Un mezzo prisma, usato in guisa che la luce cada perpendicolarmente alla faccia minore, agisce a questo modo. Girato altrimenti, il mezzo prisma diminuisce (nella stessa direzione) un oggetto veduto con luce monocromatica. La distanza fra due linee vicine sarà aumentata nel primo caso e diminuita nel secondo, effetto che deve essere attentamente distinto dall'accrescere o diminuire della dispersione. Lo stesso avviene per prismi composti. Il signor W. H. M. Christie,

assistente osservatore a Greenwich, usò parecchi spettroscopi formati di mezzi prismi, semplici o composti. Il prof. Eatom, ed altri spettroscopisti americani, lo hanno preceduto sotto questo rispetto. Nei casi in cui è importante la separazione fra le linee come nel metodo esposto nell'ultimo capitolo, ed in altri casi dove può essere conveniente avere lo spettro raccorciato, senza nuocere alla sua purezza, l'uso dei mezzi prismi è vantaggioso. Ma essi non possono essere sostituiti con profitto ai prismi intieri, usati sotto l'angolo di minima deviazione, quando sia richiesta una grande dispersione.

Bisogna considerare meglio un altro punto, prima di passare alle ricerche che riuscirono a spiegare il significato delle linee nello spettro solare.

È spesso necessario di avere alcuni mezzi per determinare la posizione delle linee osservate nello spettro. A questo scopo si possono adoperare parecchi metodi. Il più semplice, e più comune è di avere, oltre al tubo di collimazione ed al telescopio per osservare, un terzo tubo, a un dipresso come il tubo di collimazione, collocato in guisa che altri raggi di luce, passati attraverso ad una lastra trasparente, sulla quale è incisa una scala finissima, e ad una lente, che li rende paralleli fra loro, siano riflessi sulla faccia più vicina dell'ultimo prisma della batteria, e passino nel telescopio accanto al fascio luminoso che si sta analizzando. Così l'occhio, mentre osserva lo spettro di questa luce nel telescopio, vede pure un'immagine ingrandita della sottile

scala. Il terzo tubo può essere adattato mediante una vite, così che ogni linea nella scala si possa far accordare con una linea nota nello spettro, e quindi la distanza esatta di ogni altra linea dalla prima si possa determinare in parti della scala. Oppure, se conviene, la distanza fra due linee qualunque dello spettro si può immediatamente osservare, senza muovere la scala.

Alla scala illuminata si sostituisce talvolta un micrometro. Girando una testa di vite si può portare una fessura od un sottil filo a coincidere con ogni linea dello spettro. Lo spostamento necessario per portare la fessura od il filo da una ad altra linea dello spettro, è misurato dalle graduazioni sulla testa della vite.

Poichè la sottile scala in un caso, il segno micrometrico nell'altro, sono visti per mezzo del telescopio di osservazione, è necessario per la visione distinta, che i raggi riflessi dall'ultima faccia del prisma siano paralleli, al pari di quelli emergenti dalla faccia medesima e formanti l'immagine dello spettro. Quindi è necessario di avere una lente al termine del piccolo tubo, appunto come si ha una lente al termine del tubo di collimazione. Ognuna di queste lenti serve allo stesso intento, cioè di rendere paralleli quei raggi, che prima di raggiungere le lenti erano divergenti.

La posizione relativa delle linee di uno spettro si può ancora determinare provvedendo il telescopio d'osservazione di un filo incrociato, o di una linea luminosa, che si possono portare a coincidere con una linea dello spettro, girando il telescopio. Lo spostamento necessario a tal

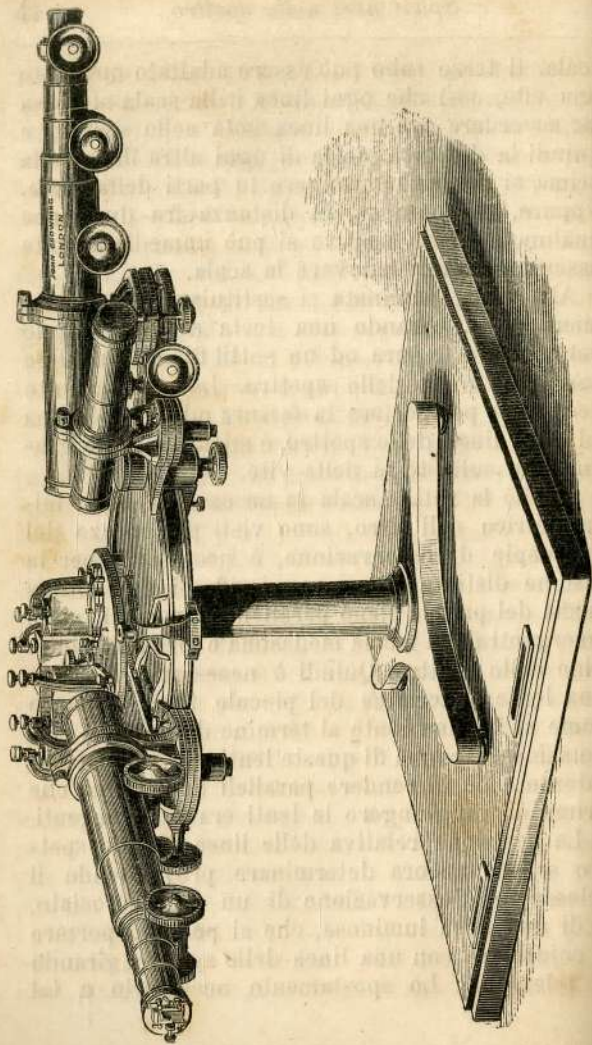


Fig. 32. — Lo spettroscopio di Kew (costrutto da Browning).

uopo misura la distanza della linea da quella parte dello spettro cui mirava il telescopio prima che il movimento incominciasse.

Il lettore può ora comprendere lo scopo delle varie parti di uno spettroscopio composto, quale è quello descritto dalla fig. 32, che rappresenta lo spettroscopio costruito dal sig. J. Browning per l'Osservatorio di Kew. Sulla sinistra è il tubo di collimazione. Il tubo che porta il nome del costruttore è il telescopio di osservazione. Il terzo tubo, il più corto dei tre, porta la scala, che deve essere illuminata da una lampada collocata in guisa da proiettare la sua luce nell'interno del tubo. Sulla tavola alla quale sono attaccati i tre tubi si vede la batteria di prismi, disposta in guisa che i raggi li attraversino nel modo indicato dalla fig. 21.

CAPITOLO III.

VARI ORDINI DI SPETTRI.

Abbiamo appreso dalle osservazioni di Fraunhofer che varie sorgenti luminose danno spettri differenti. Noi abbiamo ora a considerare questo punto più particolarmente. Non solo la storia dell'analisi spettroscopica ce lo porta ora dinanzi in modo speciale, ma il doverne trattare scientificamente, e senza tener conto di ciò che si può ritenere come incidentale nel progresso inventivo, esige che noi ora esaminiamo i vari ordini di spettri ottenuti da differenti corpi luminosi.

In primo luogo, si deve osservare che i corpi solidi e fluidi incandescenti con intenso calore danno spettro senza righe nere od interruzioni di sorta, ossia il cosiddetto spettro continuo. Lo spettro, tuttavia, non è lo stesso per tutti i gradi di calore. Così, se un pezzo di metallo è riscaldato gradatamente, si troverà che, non appena il metallo è portato al calore rosso cupo,

s'incomincia a vedere la parte rossa dello spettro; crescendo il calore, appare la parte ranciata dello spettro (la parte rossa non dispare, anzi brilla sempre più); e con calore gradatamente aumentato, appaiono successivamente le porzioni gialla, verde, azzurra, indaco e violetta dello spettro, finchè da ultimo si vede tutta la lunghezza dello spettro, dall'estremo rosso all'estremo violetto. A questo punto il metallo osservato ad occhio nudo appare bianco brillante.

Qualunque sostanza solida o liquida si adotti per sorgente luminosa, lo spettro è sempre continuo, benchè lo splendore delle diverse parti dello spettro non sia sempre uguale, nè ugualmente proporzionato. Due eccezioni furono notate — nel caso dei corpi Erbio e Didimio — dove si videro certe zone luminose nello spettro, le quali, senza distruggerne la continuità, gli danno un carattere somigliante a quello di un altro ordine di spettri, che ora descriveremo; sembra tuttavia che queste non siano eccezioni reali, non essendo le zone luminose dovute realmente alle sostanze solide incandescenti. Noi possiamo adunque prendere per regola generale che la luce emessa dai corpi solidi e liquidi incandescenti presenta uno spettro continuo.¹

¹ Schellen dà, abbastanza illogicamente, la reciproca di questa regola, dopo aver stabilito i fatti sui quali la regola stessa è fondata. « Si può *adunque* considerare » dice egli « che, di regola, dove si ha uno spettro continuo, senza lacune, e contenente ogni tinta di colore, la luce sia derivata da un corpo solido o liquido incandescente. » Questo errore non è importante in sè stesso, perchè la regola si trova essere prossima al vero. Ma chi studia deve evitare attentamente ra-

Visto che la natura dello spettro continuo dato da un corpo incandescente, solido o liquido, dipende dal calore del corpo, e che lo spettro incomincia a vedersi all'estremo rosso, soltanto quando il calore ha raggiunto un certo grado, è ovvio il domandare, se i limiti visibili dello spettro siano i veri limiti dello spazio sul quale gli effetti emananti dal corpo luminoso sono dispersi dalla rifrazione prismatica. Noi *vediamo* la luce, ed il nostro senso della vista ci informa così, che certi effetti si producono in quelle direzioni particolari che stanno fra gli estremi rosso e violetto dello spettro; ma certi più delicati, o certi differenti metodi di osservazione non possono ora indicare effetti prodotti al di là dell'estremo rosso, o dell'estremo violetto dello spettro visibile? La commozione delle particelle di un corpo per la quale esso diviene luminoso *produce* ancora altri effetti. Così, quasi tutti i corpi dotati di luce propria emettono calore ¹ insieme alla loro luce; e ancora, quasi tutti i corpi dotati di luce propria producono cambiamenti chimici nelle sostanze di opportuna sensibilità, sulle quali cadono i loro raggi. L'analisi spettroscopica, oltre al separare i raggi di

gionamenti di tale fatta. Provare che i corpi solidi e liquidi danno spettri continui, non è equivalente al provare che i corpi che danno spettri continui sono necessariamente solidi o liquidi.

(Nota dell'Autore.)

¹ Probabilmente, tutti i corpi che hanno luce propria, emettono una certa quantità di calore; ma in taluni casi, come in quello della fosforescenza, ecc. la presenza del calore non è facile a determinarsi.

(Nota dell'Autore.)

un colore da quelli di un altro, riesce a separare i raggi che non producono la sensazione chiamata luce, da quelli che la producono; e così si trova che al di là dell'estremo rosso dello spettro, cadono raggi che producono calore, mentre al di là dell'estremo violetto cadono raggi che producono certi effetti chimici. Badi il lettore a non attribuire a questa dichiarazione un senso definito, che essa realmente non possiede. Essa non asserisce che i raggi luminosi non producono calore, o che l'azione chimica è peculiare ai raggi che sono al di là dell'estremo violetto. Tutto ciò che essa asserisce è, che i raggi al di là dell'estremo rosso si trovarono dotati di un effetto calorifico, e che i raggi al di là dell'estremo violetto si trovarono atti a produrre certi effetti chimici.

La relazione effettiva fra il calore e la luce

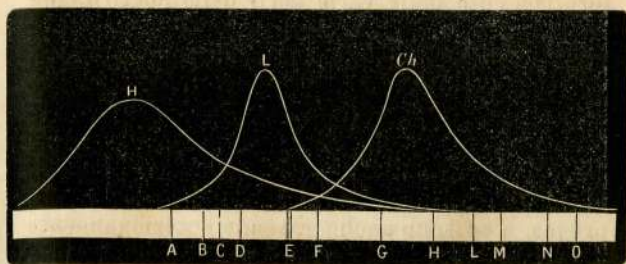


Fig. 33. — Attività calorifica, luminosa e chimica delle varie parti dello spettro solare.

delle varie parti dello spettro è indicata nella figura 33. La curva segnata *L* indica l'intensità

della luce nelle differenti parti dello spettro. Un poco più a sinistra di *A* è l'estremo rosso dello spettro, e noi vediamo che qui la curva della luce esce dal lembo orizzontale superiore dello spettro. Fra le linee *D* ed *E* di Fraunhofer lo spettro è più brillante, e noi vediamo che qui la curva della luce si porta alla massima distanza da questa linea orizzontale; poi le si riavvicina gradatamente verso destra, e raggiunge la linea orizzontale poco a diritta di *H*, mostrando che ivi giace l'estremo violetto dello spettro. La linea curva segnata *H* indica nel medesimo modo gli effetti calorifici delle varie porzioni dello spettro, e si osserverà che questo effetto è massimo al di là dell'estremo rosso o visibile dello spettro, ma che la curva del calore si estende sin quasi all'estremo violetto visibile dello spettro. Vuolsi notare, tuttavia, che, nello stimare il calore ricevuto dalle varie parti dello spettro, debbesi considerare l'azione dispersiva del prisma, ed anche la conducibilità calorifica della materia del prisma. Per esempio, raggi di un certo colore, che posseggono in realtà un certo potere calorifico, prima di cadere sul prisma, possono essere privati parzialmente di tale potere dall'azione assorbente del vetro donde è fatto il prisma, e possono anche, essendo eccezionalmente dispersi, apparire dotati di un potere calorifico relativamente minore di quello che posseggono in effetto. La curva *H* del calore nella fig. 33 subirebbe modificazioni considerevoli, se si tenesse conto scrupolosamente di queste considerazioni.

La curva *Ch* è descritta comunemente come

rappresentatrice dell'energia chimica dei raggi appartenenti a varie parti dello spettro. Ma in realtà, essa fu determinata soltanto in rapporto a quella forma particolare di energia chimica, che è detta attinismo, la quale produce in certe sostanze sensibili quei cangiamenti sui quali è basata l'arte fotografica. Si osservi che questa forma di energia raggiunge il suo massimo precisamente in corrispondenza all'estremo violetto visibile dello spettro. Ma alla curva *Ch* si possono applicare considerazioni analoghe a quelle sulla curva *H* ed anche sulla *L*. La determinazione del potere calorifico, luminoso e chimico dei raggi di differente rifrangibilità è stata sin qui effettuata in modo ben grossolano.

Avendo appreso che i corpi solidi e liquidi danno, quando sono luminosi, uno spettro continuo, ricerchiamo ora quale spettro sia dato dai corpi vaporosi, portati all'incandescenza. La ricerca ha un nesso speciale coll'argomento dell'analisi della luce, perchè la luce è risolta dall'analisi spettrale nei colori che la compongono, ed è peculiare caratteristica dei vapori incandescenti quella di presentare usualmente colori assai vivaci. Se noi vediamo che da una sostanza incandescente emana luce colorata, noi ne deduciamo che la luce, analizzata collo spettroscopio, mostrerà un *eccesso* di raggi nella parte corrispondente dello spettro, oppure si troverà composta unicamente di raggi appartenenti a certe porzioni definite dello spettro. La risposta data alla nostra ricerca dallo spettroscopio è significantissima. Si trova che la luce dei vapori in-

candescenti, anzichè formare uno spettro continuo, dà uno spettro di linee colorate (immagini della fessura) o zone, con frapposti spazi neri.

Sarà bene considerare qui i vari modi nei quali si può ottenere lo spettro di un vapore incandescente. Il punto cui si deve badare principalmente è il grado di calore necessario a vaporizzare la sostanza, ed a renderne incandescente il vapore, con produzione di luce. Alcune sostanze possono essere esaminate con grande facilità, perchè non si richiede grande calore. Così, lo spettro del sodio si può esaminare con una lampada comune ad alcool. Se noi poniamo un pezzetto di sale ordinario da cucina, che è il cloruro di questo metallo, sopra una piccola spatula metallica, e poniamo il sale nella fiamma di una lampada ad alcool, la fiamma incomincerà subito a bruciare di luce giallo-ranciata. Se noi esaminiamo questa luce con un piccolo spettroscopio (ad esempio, con uno degli spettroscopi-miniatore di Browning), invece dello spettro coi colori dell'arcobaleno, che si osserva quando l'istrumento è diretto verso il cielo, o verso un oggetto illuminato dal sole, noi vediamo una grossa linea nella parte giallo-ranciata dello spettro (vedi il terzo spettro nel frontispizio colorato). Ma invero, questa linea brillante del sodio si può vedere con mezzi ancor più semplici, perchè, se si brucia un pezzo di carta o di legno, la luce esaminata con un piccolo spettroscopio mostra con intermittenza la linea gialla del sodio, essendo tale elemento presente in quasi tutte le sostanze organiche.

Nell'uso comune, veramente, è richiesta una

lampada di Bunsen a becco di gaz. In una lampada così costrutta, un tubo porta al becco l'ordinario gaz illuminante. Una camera inferiore è perforata per ammettere l'aria esterna, che sale col gaz alla cima del tubo. Il risultato di questa mescolanza è che il gaz, quando sia acceso, brucia con intenso calore. La fiamma emette poca luce, in causa della combustione completa delle particelle di carbonio, le quali, con minor calore, come nell'ordinaria fiamma a gaz, brucierebbero con luce, e, come i corpi solidi, darebbero uno spettro continuo, mascherando lo spettro di ogni elemento che noi desiderassimo sottoporre ad esame.

Un calore ancor più grande si può ottenere, coll'uso di un potente ventilatore, dove l'aria sia spinta attraverso un tubo comunicante con un mantice, e con un recipiente di aria compressa. La fiamma si può regolare, ma, quando essa sia alla sua massima intensità, essa è capace di fondere la maggior parte dei metalli. Se invece del gaz illuminante, si adopera l'idrogeno, il tubo a ventilazione può fondere persino il platino; ovvero, pur adoperando il gaz illuminante, ma l'ossigeno invece dell'aria, si può fondere il platino. Usando idrogeno ed ossigeno, noi otteniamo la fiamma ad ossidrogeno, che è di intensità ancor maggiore. In questa fiamma, i fili di platino si fondono come la cera.

Ma per molti scopi, ed in particolare quando si devono mostrare spettri ad un uditorio, si dovrà ricorrere all'elettricità. Quando la scintilla elettrica scocca fra due poli, uno caricato posi-

tivamente, l'altro negativamente, ciò indica che le particelle che si trovano sul percorso della scintilla sono portate ad un intenso calore. Quando la tensione elettrica che produce la scarica è abbastanza grande, le particelle dei poli metallici sono vaporizzate, e la scintilla elettrica si tinge dei colori dovuti ai vapori metallici. Così gli spettri dei vari metalli (per i quali si deve sempre intendere gli spettri dei loro *vapori*) si possono facilmente esaminare. Di più, il gaz od i gaz attraverso ai quali ha luogo la scarica diventano luminosi, e, quando siano chiusi in tubi di vetro, la luce così ottenuta basta a mostrarne lo spettro. Si possono pure ottenere gli spettri dei vapori di vari liquidi, ponendo uno dei poli metallici nel liquido, e l'altro vicino alla superficie del liquido stesso abbastanza, perchè la scintilla passi dalla superficie a questo polo, volatilizzando una piccola parte del liquido. In tutti questi casi, noi abbiamo una scintilla, la luce della quale è *in parte* quella del vapore incandescente della sostanza che si esamina, di guisa che lo spettro della scintilla contiene lo spettro di questa sostanza. Del resto, non è difficile determinare quale parte sia dovuta a questa sostanza, e quale ad altre. Perchè, variando le condizioni, noi possiamo ottenere lo spettro della sostanza in combinazione con vari altri spettri, e quella parte dei vari spettri composti così ottenuti, che sarà comune a tutti, si potrà ritenere lo spettro della sola sostanza che sia presente in tutte le scintille, cioè, della sostanza che si sta esaminando,

Una lampada elettrica per mostrare gli spettri dei metalli ad un numeroso uditorio è rappresentata dalla fig. 34. A sinistra è la lampada, della

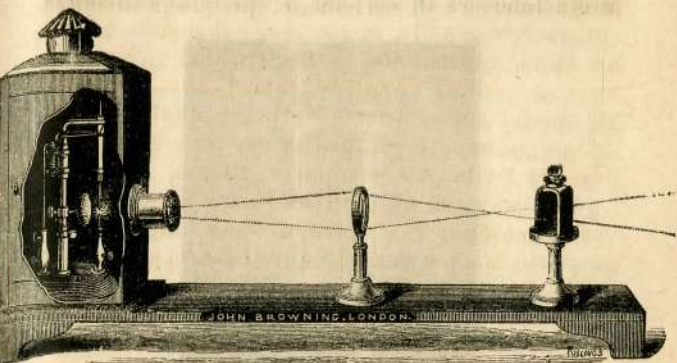


Fig. 34. — Lampada elettrica di Browning per presentare spettri.

quale si è soppresso un tratto di custodia, perchè si possano vedere le varie parti che la compongono, il regolatore, che porta le punte di carbone fra le quali scocca la scintilla elettrica, il riflettore metallico, il tubo, ecc. Nel mezzo è una lente convergente, montata sopra un sostegno, ed a destra un vasetto prismatico contenente bisolfuro di carbonio, un liquido che possiede grande potere dispersivo, e quindi forma un lungo spettro orizzontale, facendo perdere per assorbimento il meno possibile di luce.

Una lampada elettrica più grande è illustrata nella fig. 35, che indica più chiaramente come la scintilla elettrica appare fra le punte di carbone. Qui si vedono anche (a sinistra, in basso)

i fili, che conducono la corrente elettrica dalla batteria di pile. Una piccola quantità della sostanza di cui si vuole lo spettro è collocata sulla punta inferiore di carbone, e, quando la distanza

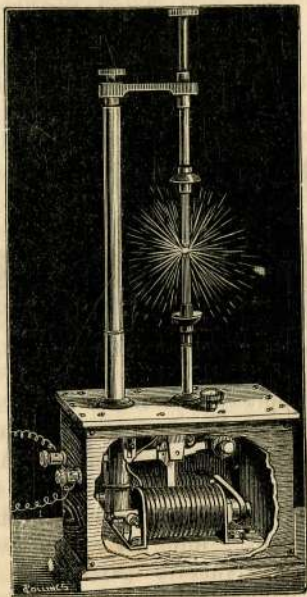


Fig. 35. — Grande lampada elettrica automatica di Browning.

fra le punte è disposta opportunamente, la luce della scintilla elettrica viene soprattutto dal vapore incandescente della sostanza.

Il risultato generale dell'esame degli spettri di vari elementi è, che questi spettri consistono di linee o zone colorate, cui sono frapposti spazi

neri. Brewster, John Herschel e Talbot furono fra i primi che esaminarono siffatti spettri. Nel 1822, sir John Herschel richiamò l'attenzione sull'importanza di studiare le linee e le zone formanti gli spettri dei vapori di vari elementi. « Le terre pure » egli dice « violentemente riscaldate, producono alle loro superficie luci di splendore straordinario, le quali, se esaminate coll'analisi prismatica, si trovano provvedute in eccesso di raggi peculiarmente definiti, che caratterizzano le tinte delle fiamme colorate da essi; di guisa che non può essere dubbio che queste tinte provengano dalle molecole della materia colorante ridotta in vapore, e portata allo stato di violenta ignizione. »

Il frontispizio colorato dà lo spettro di diversi elementi. Il primo spettro in questo quadro è quello del sole, che, veramente, non mostra che le principali linee nere. Il secondo è lo spettro del potassio (*K* o *ka*, da *kalium*), che consiste in una forte linea rossa, un'altra debole linea rossa, ed una forte linea violetta. Il terzo è lo spettro del sodio (*na*, da *natrum*), che consiste in una forte linea doppia giallo-ranciata (si mostrano soltanto le linee più caratteristiche dello spettro; con un'alta temperatura si trova che lo spettro del sodio contiene parecchie linee deboli, oltre alla doppia linea gialla caratteristica, la quale sola figura nel quadro). Il quarto spettro è quello del litio, che consiste in una linea rossa brillante, ed una più debole di ranciato giallo. Il quinto spettro è quello del calcio, che consiste in una brillantissima linea ranciata, una de-

bole linea rossa, parecchie di giallo e giallo verde, ed una indaco. Il sesto spettro, che è quello dello stronzio, serve ad indicare l'utilità dell'analisi spettrale come mezzo per distinguere sostanze, i vapori delle quali splendono con ugual colore; poichè, mentre nessuno può confondere questo spettro con quello del litio, che sul quadro lo precede di due posti, la fiamma dello stronzio può essere distinta dalla fiamma del litio soltanto da un occhio molto esercitato a scoprire piccole differenze di tinta, ambedue le fiamme presentando un brillante colore cremisi. Lo spettro seguente nel quadro è quello del bario. Vengono poi il tallio e l'indio, elementi interessanti, per essere stati scoperti la prima volta mediante le loro linee caratteristiche, donde venne il loro nome (tallio, dal greco, per una riga verde, e indio, per una indaco). I due spettri successivi appartengono ad altri ordini, ma gli ultimi tre illustrano gli spettri dei vapori. Il numero 12 è lo spettro dell'idrogeno a bassa pressione; il numero 13 è uno spettro dell'azoto, e finalmente il 14 è lo spettro del gaz illuminante.

Abbiamo veduto che lo spettro dato da un corpo solido o liquido, benchè sempre continuo, varia secondo le condizioni di temperatura del corpo. Similmente varia col calore del vapore lo spettro discontinuo dato da un vapore incandescente. Così, prendendo lo spettro del potassio (Numero 2 nel frontispizio), la linea rossa brillante si vede bene se si adopera il becco a gaz ordinario di Bunsen, scompare se la temperatura

è aumentata mediante il ventilatore, ma ricompare se si adopera l'intenso calore della scintilla elettrica. Se si esamina il sodio a temperature moderate, si vede soltanto la doppia linea gialla, ma a temperature altissime si vedono tante linee che lo spettro sembra continuo. Plücker e Hittorf ottennero risultati analoghi cogli spettri dei gaz luminosi. Così si trova che l'idrogeno a pressione bassissima dà uno spettro di molte linee verdi sottili (in sei gruppi). A pressioni più elevate si vede lo spettro di tre linee rappresentato nel frontispizio (N. 12), Con un ulteriore aumento di pressione hanno luogo cangiamenti che conducono alla comparsa di zone. Quando la pressione è abbastanza cresciuta, si vede uno spettro continuo, che si estende dal ranciato al violetto, presentando il massimo di vivacità dove è situata la linea verde dell'idrogeno. A pressioni più alte compare ancora un brillante spettro continuo. L'azoto presenta analoghi cambiamenti. Per una certa densità, lo spettro di numerose zone si cambia in quello rappresentato al numero 13. Anche l'azoto, a temperature e pressioni abbastanza alte, dà uno spettro continuo.

Ma, pur esistendo siffatte variazioni negli spettri dati da un medesimo vapore incandescente a differenti temperature e pressioni, e pur potendo un vapore ad altissima temperatura e pressione dare uno spettro sensibilmente continuo, resta legge generale che gli spettri dei vapori incandescenti consistono in linee o zone brillanti che occupano posizioni definite. Noi abbiamo quindi

un mezzo per distinguere un corpo incandescente solido o liquido da un vapore o gaz incandescente, e lo spettro di un gaz o vapore incandescente da quello di un altro. Se lo spettro di una sostanza incandescente consiste in linee o zone brillanti, la sostanza è certamente gazzosa: se lo spettro, ancorchè continuo, ha certe zone molto più brillanti del rimanente, una parte della sorgente di luce è certamente gazzosa, a meno che le zone brillanti non corrispondano a quelle date dai corpi terrosi Erbio e Didimio; se lo spettro è continuo, e non mostra porzioni a mo' di zone più brillanti delle altre, la sorgente di luce è un corpo incandescente solido o liquido, ovvero un corpo gazzoso ad altissima temperatura e pressione: e, dove si abbiano altre ragioni per ritenere che la sostanza donde proviene la luce non può essere a pressione altissima, si può dedurne con sicurezza che essa è solida o liquida. Inoltre, se le linee brillanti di uno spettro osservato occupano la precisa posizione delle linee dello spettro di un vapore conosciuto, si può inferirne con sicurezza che la sorgente luminosa è questo vapore. Oppure, se le linee spettrali di un vapore conosciuto si trovano con altre nello spettro osservato di un corpo luminoso, noi ne possiamo inferire che questo vapore forma una parte della sostanza che è fonte di luce; e noi vedremo ora come il problema di verificare se le linee osservate si accordino esattamente nella posizione con determinate linee si possa risolvere in modo più soddisfacente che coi metodi di misura descritti al termine del capitolo precedente.

Fin qui noi abbiamo considerati gli spettri dati da corpi che risplendono di luce propria. Dobbiamo ora occuparci degli spettri di corpi i quali riflettono o trasmettono la luce ricevuta da corpi che hanno luce propria.

Come regola generale si può stabilire che prima e dopo la riflessione si ha il medesimo spettro. Così lo spettro della luce solare riflessa da una nube, dalla neve, da un foglio di carta bianca, ecc., come si è già accennato, non è altro che lo spettro solare, mostrando le linee nere appunto come quando si esamina la luce diretta del sole. Ma gli oggetti colorati, che riflettono i raggi di certi colori più facilmente che gli altri raggi, modificano alquanto lo spettro della luce dalla quale essi sono rischiarati. Così, se un pezzo di carta, tinta con una materia colorante di un giallo vivace, è illuminato dal sole, lo spettro della luce riflessa dalla carta differirà dalla luce solare per avere la porzione gialla relativamente più brillante delle altre. Grazie all'impurità di quasi tutte le sostanze coloranti, ed a quella di tutti i colori opachi degli oggetti terrestri, si annette poca importanza a queste variazioni dello spettro solare.

La cosa è ben diversa quando si tratta delle peculiari modificazioni della luce, allorchè nell'attraversare sostanze solide, liquide o vaporose non del tutto trasparenti, subisce un parziale assorbimento.

Se noi esaminiamo lo spettro della luce solare che abbia attraversato un vetro colorato, tro-

viamo che una parte dello spettro manca. Così la maggior parte dei vetri rossi trasmette raggi rossi, ranciati e pochi gialli, ma assorbe i verdi, azzurri, indaco e violetti; alcuni, veramente, non trasmettono raggi gialli, altri ne trasmettono alcuni verdi ed azzurri. In ogni caso il color rosso della luce trasmessa è dovuto alla deficienza dei raggi trasmessi appartenenti all'estremo violetto dello spettro. I vetri verdi trasmettono qualche volta raggi che appartengono a tutte le parti dello spettro, ma vi è sempre un eccesso relativo di raggi che appartengono alla parte verde dello spettro. I vetri azzurri di cobalto assorbono tutti i raggi rossi e ranciati e la maggior parte dei gialli e dei verdi, ma trasmettono i raggi azzurri e la maggior parte degli indaco e degli azzurro-violetti. In ogni caso il colore del vetro e del cristallo corrisponde alla parte dello spettro che è trasmessa più liberamente. Inoltre, se la luce trasmessa è quella del sole, si vedono le linee nere dello spettro solare nella parte di esso che corrisponde alla luce trasmessa.

L'assorbimento dovuto ai liquidi colorati produce una selezione più distinta; infatti, in un gran numero di casi l'assorbimento è tale da far vedere linee o zone nere definite nello spettro. Il metodo per esaminare gli spettri di assorbimento consiste nel sospendere fra la luce e la fessura una provetta di vetro, contenente il liquido da esaminarsi. Avendo la luce ricevuta attraverso la fessura attraversato precedentemente il liquido, si vede lo spettro di assorbi-

mento caratteristico del liquido. Tuttavia in talune osservazioni di spettri d'assorbimento, la quantità di materia colorante a disposizione dell'osservatore è insufficiente per questo metodo, e rende necessario l'uso del microscopio per raccogliere la luce.



Fig. 36. — Microspettroscopio di Sorby-Browning.

A tale scopo il micro-spettroscopio fu ideato dal signor Sorby di Sheffield, che si dedicò con ottimo esito a questo ramo dell'analisi spettroscopica. All'oculare del microscopio è sostituito l'istrumento rappresentato nella fig. 36. Le parti I, E e D indicano le disposizioni per illuminare,

oscurare e adattare un oggetto, lo spettro del quale si può paragonare con quello che si sta esaminando, col ricevere luce da un'apertura praticata lungo il microscopio. Il tubo *G* gira nel tubo a scorrimento del microscopio, ed il vetro costituente il campo è in *F*. Il congegno spettroscopico occupa il tubo *A*, e consiste in uno spettroscopio composto a visione diretta,

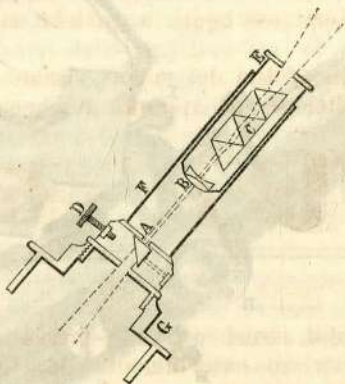


Fig. 37. — Sezione del microspettroscopio.

quale è quello della fig. 37, ed in una lente acromatica *B*, che rende paralleli i raggi. Il piccolo prisma vicino alla fessura in *A* (fig. 37) non incontra il fascio di raggi che si esaminano, ma serve ad introdurre raggi dalla seconda fonte luminosa accennata, per confrontarli con quelli ricevuti direttamente dalla fessura.

Se si ha una quantità molto esigua di un fluido da esaminare, sono utili recipienti come quello

della fig. 38, formati con una canna barometrica, ed aventi diverse profondità: il diametro interno è abbastanza piccolo per lasciar invertire il tubo senza che il fluido ne esca. Se si desidera una profondità variabile del fluido, per dare gradazioni di tinta, si potrà con vantaggio usare il recipiente cuneiforme della fig. 39. Browning fa recipienti di vetro di queste e di altre forme, contenenti una serie completa di liquidi che hanno poteri assorbenti in qualche modo degni di nota.

Come gli spettri dei vapori variano sotto variate condizioni, così appunto avviene degli spet-

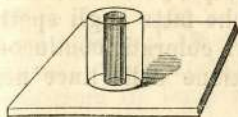


Fig. 38. — Vaso profondo.

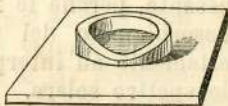


Fig. 39. — Vaso a cuneo.

tri di liquidi assorbenti. Ciò è messo in evidenza dagli spettri di assorbimento dati dal sangue umano. Così noi otteniamo quattro diversi spettri: I. Dal sangue fresco scarlatto; II. dal sangue disossidato, o cruorina; III. dalla cruorina convertita in ematina dall'azione di un acido; IV. dall'ematina disossidata.

La robbia ed i colori di anilina (magenta, malva, anilina azzurra, verde, rossa, violetta, ecc.), il carmino, e simili sostanze, dotate di poteri assorbenti altamente caratteristici, forniranno argomenti interessanti per i giovani spettroscopisti,

I gaz incolori non producono zone di assorbimento. Invece i gaz colorati esibiscono zone sempre meglio definite di quelle prodotte da liquidi colorati; infatti, tali gaz producono linee nere simili a quelle del sole tantochè per esaminarle utilmente noi non possiamo usare la luce solare, le linee nere della quale non si potrebbero facilmente distinguere dalle linee nere appartenenti al vapore che noi stiamo esaminando. È necessario usare la luce elettrica o l'ossidrogena, producendo uno spettro continuo, sul quale appajono le linee o zone nere prodotte dall'assorbimento dei gaz colorati. La storia di questo ramo della materia nostra è particolarmente interessante, perchè le ricerche fatte sugli spettri di assorbimento dei vapori colorati conducono direttamente all'interpretazione delle linee nere dello spettro solare.

Sir D. Brewster fu il primo a trattare sistematicamente questo ramo di ricerca. Egli trovò che, quando la luce solare è trasmessa attraverso i densi vapori dell'acido nitroso si vede un gran numero di nuove linee nere, specialmente verso l'estremo violetto dello spettro. Egli trovò che queste linee sono visibili anche quando, invece della luce solare, è trasmessa attraverso il gaz una luce a spettro continuo. Il prof. Miller così descrive i risultati ottenuti da lui e dal prof. Daniel: « I gaz incolori non danno in alcun caso linee addizionali, o linee diverse da quelle di Fraunhofer. La mera presenza di colore non assicura che saranno prodotte nuove linee; per es., di due vapori non distinguibili dall'occhio, uno,

il bromuro di tungsteno, dà un grande numero di nuove linee, mentre l'altro, il cloruro, non ne esibisce una. La posizione delle nuove linee non ha connessione col colore del gaz; con percloreuro verde di manganese le nuove linee abbondano nel verde dello spettro; con acido nitroso rosso crescono in numero ed in densità quanto più ci avviciniamo all'estremità azzurra dello spettro. • Lo spettro del vapore di jodio contiene un gran numero di linee nel rosso, ranciato, giallo e verde, collocate così vicino nel verde che, quando la fessura non è sottilissima, o considerabile la dispersione e la forza d'ingrandimento, esse sembrano formare ivi una larga zona nera.

Gli spettri d'assorbimento, al pari delle linee brillanti negli spettri dei vapori, variano colle condizioni di temperatura e di pressione. Così Brewster trovò che, crescendo il calore dell'acido nitroso, le linee diventarono più forti e nuove linee fecero la loro comparsa, finchè, da ultimo, tutto lo spettro fu obliterato, o, in altri termini, il gaz divenne interamente opaco.

Il vapor acqueo ha uno spettro di assorbimento, cioè, produce le sue linee e zone nere caratteristiche, le quali si discernono agevolmente nello spettro solare, quando il sole è vicino all'orizzonte (V. capitolo VII).

CAPITOLO QUARTO.

INTERPRETAZIONE DELLO SPETTRO SOLARE.

E singolare, di fronte a quanto ora ci è noto sulle linee nere del sole, che nessuno dei fatti descritti nel capitolo precedente abbia suggerito il significato reale delle linee di Fraunhofer. Noi vedremo ora che alcune delle scoperte fatte da Brewster, Miller, Stokes, ed altri, contengono implicitamente la soluzione del mistero. Eppure, come osserva il prof. Tyndall «nessuno di questi uomini preclari rivelò la minima cognizione del nesso fra le zone brillanti dei metalli e le linee nere dello spettro solare. Colui che si avvicinò maggiormente alla filosofia dell'argomento, fu Ångström. In uno scritto pubblicato nel 1855, che io tradussi dagli *Annali di Poggendorff*, egli indica che i raggi che un corpo riceve sono precisamente quelli che egli può emettere quando è reso luminoso. In un altro luogo egli parla di uno de' suoi spettri, che presenta l'impressione generale di un'inversione dello spettro solare.

Foucault, Stokes, Thompson e Stewart furono tutti assai vicini alla scoperta. Per mio conto, l'esame della radiazione e dell'assorbimento di calore da parte dei gaz e dei vapori mi avrebbe condotto nel 1859 alla legge sulla quale sono fondate tutte le speculazioni di Kirchhoff, se un incidente non mi avesse sviato dall'investigazione.»

Fin dall'ottobre 1841, Brewster segnava le seguenti considerazioni nel suo libro di note: «Questa sera (ottobre 28) io ho scoperto il fatto notevole, che, nella combustione del nitro sul carbone si hanno raggi brillanti definiti, in corrispondenza alle linee doppie di *A* e di *B*, ed al gruppo *a* di linee nello spazio *AB*. La coincidenza dei due raggi gialli coi due che mancano in *D*, coll'esistenza di raggi brillanti definiti nella fiamma del nitro, non soltanto in *D*, ma in *A*, *a* e *B*, è così straordinaria, da indicare una connessione regolare fra le due classi di fenomeni.»

Nel 1858 e 1859, i fisici tedeschi Kirchhoff e Bunsen entrarono in una serie di ricerche, lo scopo delle quali era di assegnare la vera posizione delle linee negli spettri di varii elementi. Essi scelsero come spettro di riferimento quello del sole, e per assicurarsi una grande accuratezza nel confrontare le posizioni delle linee, per gli elementi e per lo spettro solare, adottarono un sistema, col quale, invece di semplici misure (in conformità ai metodi descritti a pag. 36 e 37), si effettuava un confronto diretto, le linee nei due spettri essendo vedute simultaneamente. Il modo col quale ciò si otteneva era il seguente:

La fig. 40 rappresenta la fessura adattabile del

loro spettroscopio (vedi la fig. 17, dove questa appendice si vede all'estremità del braccio sinistro, o tubo di collimazione). La fessura è rap-

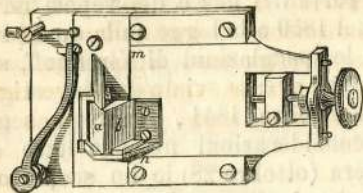


Fig. 40. — Fessura adoperata per confrontare due spettri.

presentata da mn . Di fronte a una metà di essa è collocato un prismetto equilatero di vetro ab , che intercetta la luce che passa direttamente verso la fessura, ma riflette attraverso a questa parte della fessura stessa la luce ricevuta da un'altra sorgente. La fig. 41 mostra come agisce il prisma. Qui la luce che passa direttamente entro la fessura S viene da F , mentre i raggi che vengono da un altro corpo luminoso L , riflessi dalla faccia interna de del prisma, attraversano l'altra metà della fessura nella direzione rst , ossia parallelamente ai raggi che vengono da F . Così questi formano uno spettro parallelo allo spettro formato dai raggi che vengono da L . Usando questa disposizione, si vedono due spettri insieme, uno sopra l'altro, il superiore dei quali è formato di raggi entrati per la parte superiore della fessura in diretta provenienza dalla sorgente di luce che si sta analizzando, mentre l'inferiore è formato di raggi che entrarono per la parte inferiore della fessura, dopo aver attraversato il

prisma di comparazione fde (fig. 41), ed aver subita una riflessione interna sulla faccia ed . Poichè i raggi riflessi dal prisma di comparazione attraverso la fessura debbono entrare nella medesima direzione di quelli che ne attraversano direttamente l'altra metà, il prisma più grande che forma lo spettro agisce precisamente nello stesso modo sopra raggi che vengano con ugual

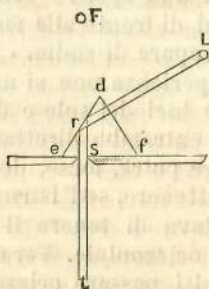


Fig. 41. — Azione del prisma di comparazione.

grado di rifrangibilità dalle due sorgenti luminose; cosicchè, se, ad esempio, le medesime sostanze sono volatilizzate nelle due fiamme, le linee dello spettro inferiore sono sul prolungamento esatto di quelle dello spettro superiore. Se invece le sostanze sono diverse, allora la questione dell'accordo o disaccordo di una linea nello spettro dell'una con una linea nello spettro dell'altra può essere immediatamente risolta con questo mezzo. È ovvia l'utilità di questo metodo per la ricerca che Kirchhoff e Bunsen avevano di mira,

Fra altre investigazioni, Kirchhoff propose di verificare l'asserzione di Fraunhofer, che la doppia linea brillante ranciata nello spettro del sodio (frontispizio, N. 3) coincide colla posizione della doppia linea nera *D* nello spettro solare. Allo scopo, dice Kirchhoff, « di verificare nel modo più diretto possibile il fatto frequentemente asserito della coincidenza delle linee del sodio colle linee *D*, io ottenni uno spettro solare abbastanza brillante, e portai di fronte alla fessura una fiamma colorata col vapore di sodio. » Importa notare che in questa esperienza non si usò il prisma di comparazione; le luci del sole e della fiamma di sodio passarono entrambe direttamente entro la fessura. Chi legge potrà, forse, domandarsi come ciò siasi potuto ottenere, se l'istrumento di Kirchhoff non permetteva di tenere il tubo di collimazione fuorchè orizzontale. Veramente, i raggi del sole erano fatti passare orizzontalmente entro questo tubo mercè uno spettro mobile, od eliostato, almeno durante gli esperimenti nei quali abbisognava la vera luce del sole. Per alcuni scopi la luce del cielo basterebbe a dare uno spettro solare abbastanza chiaro. Nell'esperienza di cui ora si tratta lo spettro non era di luce solare piena. È chiaro poi che, se era corretta la asserzione di Fraunhofer, poichè le linee brillanti date dalla fiamma del sodio sarebbero cadute precisamente sulle posizioni occupate dalle linee nere solari *D*, queste o non sarebbero state così nere, o sarebbero state sostituite da linee brillanti, a seconda che la luminosità delle linee della fiamma di sodio fosse rimasta alquanto al disotto, od

avesse alquanto ecceduta la luminosità dello spettro solare. Si verificò il secondo caso. « Io vidi » dice il Kirchhoff « le linee nere *D* diventare luminose. » Così si stabilì la precisione dell'asserzione di Frauhhofer. Trovando poi che la fiamma di una lampada di Bunsen in questo esperimento dava le linee brillanti del sodio sullo spettro solare con inattesa luminosità, Kirchhoff stabilì di verificare fin dove « l'intensità dello spettro solare potesse essere ridotta senza nuocere alla chiarezza delle linee del sodio. » Egli quindi fece agire la piena luce solare colla fiamma del sodio. « Con mia meraviglia » egli dice « io vidi che le linee nere *D* apparvero con un grado straordinario di nitidezza » — vale a dire, molto più nere del solito, o delle altre linee dello spettro. Se noi ricordiamo che la luce della fiamma del sodio cadeva precisamente sulle linee nere solari *D*, possiamo comprendere la meraviglia di Kirchhoff nel vedere le linee più nere di prima. Sarebbe come se uno sperimentatore avesse portato un fascio di luce esattamente sopra un'ombra ed avesse veduto l'ombra divenire più nera e più distinta, anzichè più debole.

Per controllare questo strano risultato, Kirchhoff « cambiò » ci dice egli « la luce del sole colla Drummond, o luce di calce ad ossidrogeno, la quale, come quella di tutti i corpi incandescenti solidi o liquidi, dà uno spettro che non contiene linee nere. Quando si fece cadere questa luce sopra una fiamma opportuna, colorata con sal comune, si videro linee nere nello spettro al posto delle linee del sodio. Lo stesso fenomeno fu

osservato, usando, in luogo del cilindretto incandescente, un filo di platino che, essendo riscaldato in una fiamma, fu portato ad una temperatura vicina al suo punto di fusione da una corrente elettrica che lo attraversava. »

Questa esperienza fu ancor più importante della precedente. Allora infatti parve che Kirchhoff avesse ottenuto oscurità combinando le due luci. La luce elettrica od ossidrogena da sole coprivano col loro spettro continuo la parte dove compaiono le linee del sodio nello spettro solare; la fiamma del sodio da sola accendeva questa parte dello spettro. Quando entrambe ardevano insieme, era da aspettarsi che questa parte dello spettro dovesse essere più brillante del resto; invece di ciò, parve che ivi risultasse oscurità. In realtà, non vi era che relativa oscurità non assoluta, essendo il posto dove apparivano le linee nere illuminato realmente colla stessa intensità, come se la fiamma del sodio ardesse da sola; ma per il contrasto col brillante spettro continuo della luce elettrica, o della fiamma ossidrogena, questa debole illuminazione sembrava oscurità. In questo esperimento la fiamma del sodio agiva come un vapore assorbente. Nulla era di nuovo o di meraviglioso nel fatto che un vapore incandescente assorbisse la luce. Il punto importante era, che i raggi assorbiti dalla fiamma del sodio corrispondessero precisamente a quelli che la fiamma stessa emette. Ricordando poi che l'emissione di luce da un corpo risulta da un moto vibratorio delle ultime particelle del corpo, appariva da questa esperienza che quei

movimenti vibratorii speciali che hanno luogo nel vapore di sodio incandescente, ricevono senza trasmetterli (vale a dire, *assorbono*) i corrispondenti movimenti vibratorii che provengono dal sole, dalla scintilla elettrica, o dalla fiamma ossidrogena. Questi raggi speciali, che cadono sulla fiamma del sodio, e ne sono assorbiti, tendono necessariamente a riscaldarla, ma il calore così ricevuto è distribuito immediatamente (per quanto si può stimare), e ne segue che la fiamma del sodio continua ad assorbire senza ostacoli tutti questi raggi [che cadono sopra di essa, e corrispondono alla luce che essa emette.

Kirchhoff sperimentò sopra altri elementi. Egli trovò che i vapori incandescenti di potassio fanno apparire nello spettro continuo della luce di calce alcune linee, che corrispondono perfettamente, per posizione, alle linee brillanti che si trovano nello spettro della fiamma del potassio, osservata da sola. Kirchhoff e Bunsen, lavorando insieme, stabilirono la stessa legge per gli spettri del litio, del calcio, dello stronzio e del bario. Con queste e con altre ricerche si stabilì la legge generale, che « ogni sostanza che ad una data temperatura emette raggi di certi ordini di rifrangibilità, possiede alla stessa temperatura la facoltà di assorbire raggi di questi stessi ordini di rifrangibilità. »

Ma si consideri ora quale interessante significato fu dato da questa scoperta alle linee nere solari! Kirchhoff aveva provato che, quando la luce elettrica è vista attraverso a vapore di sodio incandescente, le linee nere del sodio appa-

iono sullo spettro continuo della luce elettrica. È ovvio adunque, che anche la luce solare, che mostra le linee nere del sodio, deve prima di raggiungerci avere attraversato il vapore di sodio. E le altre linee nere nello spettro solare non sono appunto dovute, come è ovvio, all'assorbimento esercitato da altri vapori, che furono attraversati dai raggi solari? O nella nostra atmosfera, od in quella del sole, debbono esistere vapori, uno dei quali è certo il sodio, che fanno apparire queste linee nere nello spettro solare. Il lavoro ulteriore di Kirchhoff fu di determinare quali altri vapori, oltre al sodio, intercettino a questo modo parte della luce originariamente emessa dal sole, e di mostrare incidentalmente che questi vapori debbono trovarsi nell'atmosfera del sole, non nella nostra.

In queste ricerche egli fece uso del prisma di comparazione, illustrato nelle fig. 40 e 41. Egli paragonò gli spettri di molti elementi terrestri con quelli del sole. Fra i primi egli prese lo spettro del ferro che, per quanto a lui constava, conteneva sessantacinque linee brillanti, ma che realmente ne contiene oltre a 450. Questo era adunque uno spettro ben differente dal semplice spettro del sodio. Ma esso attestò precisamente la stessa natura, soltanto ancor più efficacemente. Ognuna delle linee brillanti del ferro ebbe la sua corrispondenza nello spettro del sole. Linea per linea, linea forte per linea forte, e linea debole per linea debole, ogni linea dello spettro del ferro apparve come una linea nera nello spettro del sole. La natura della prova è illustrata dalla fig. 42,

che mostra una parte del doppio spettro del sole (superiore) e del ferro. Si vedrà immediatamente che l'evidenza nel caso delle linee del ferro è affatto irresistibile. Kirchhoff, trattando questo argomento come un problema di probabilità, e prendendo uguale ad $\frac{1}{2}$ la probabilità di accordo di

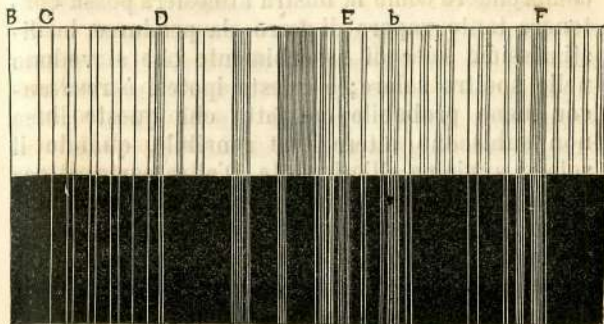


Fig. 42.

Coincidenza delle linee del ferro colle linee di Fraunhofer
(le linee chiare non sono che alcune delle linee note del ferro).

una linea nera solare con una data linea del ferro, dedusse per le opposizioni alla coincidenza osservata l'enorme valore di 1,000,000,000,000 ad 1. « Quindi » egli ragiona « questa coincidenza deve essere prodotta da una causa, e si può assegnare una causa che fornisce una spiegazione perfetta del fenomeno. Il fenomeno osservato si può spiegare colla supposizione che i raggi che formano lo spettro solare abbiano attraversato il vapore di ferro, ed abbiano così subito l'assor-

bimento che il vapore di ferro deve esercitare. Poichè questa è la sola causa che si possa assegnare alla coincidenza, la supposizione prende l'aspetto di essere necessaria. Questi vapori di ferro possono essere sospesi o nell'atmosfera del sole od in quella della terra. Ma non è facile comprendere come la nostra atmosfera possa contenere tanto vapore di ferro da produrre le distintissime linee di assorbimento che si vedono nello spettro solare; e questa ipotesi è resa ancor meno probabile dal fatto che queste linee non subiscono alterazione sensibile, quando il sole si avvicina all'orizzonte. D'altra parte, attesa la elevata temperatura che noi dobbiamo supporre posseduta dall'atmosfera solare, non sembra affatto improbabile che tali vapori siano ivi presenti. Quindi mi pare che le osservazioni dello spettro solare provino la presenza di vapori di ferro nell'atmosfera solare con tutto quel grado di sicurezza che noi possiamo raggiungere in un problema di scienze naturali. » Si può qui aggiungere ai ragionamenti di Kirchhoff che l'evidenza ottenuta rispetto agli spettri delle stelle basta a mostrare che la nostra atmosfera non può essere la causa delle linee nere nello spettro solare. Perchè, se ciò fosse, lo spettro di ogni stella mostrerebbe le stesse linee nere, e questo non avviene.

Continuando le sue ricerche, Kirchhoff trovò che il calcio, il magnesio ed il cromo esistono nell'atmosfera solare. La presenza del nichelio e del cobalto sembrava indicata dall'accordo delle loro linee più cospicue con linee nere solari.

Pure non si potè riconoscere tutte le linee di questi elementi, e Kirchhoff non potè assicurarsi dell'esistenza del cobalto nel sole. « Io mi considero autorizzato » egli dice « a concludere che il nichelio è presente nell'atmosfera solare; ma io non esprimo ancora un'opinione sulla presenza del cobalto. Sembra che il bario, il rame e lo zinco siano presenti nell'atmosfera solare, ma in quantità esigue solamente; la più brillante delle linee di questi metalli corrisponde a linee distinte nello spettro solare, ma le linee più deboli non sono avvertite. Gli altri metalli da me esaminati, cioè l'oro, l'argento, il mercurio, l'alluminio, il cadmio, lo stagno, il piombo, l'antimonio, l'arsenico, lo stronzio ed il litio, non sono visibili nell'atmosfera solare, stando alle mie osservazioni. »

Ricerche ulteriori con metodi basati sulla grande scoperta di Kirchhoff mostrarono che l'atmosfera del sole contiene i vapori incandescenti degli elementi nominati nella tavola seguente, che indica pure il numero delle linee di Fraunhofer che corrispondono a linee brillanti negli spettri di questi elementi:

Idrogeno	4
Sodio	9
Bario	11
Calcio	75
Magnesio	4 + (3?)
Alluminio	2?
Ferro	450
Manganese	57
Cromo	18

Cobalto	19
Nichelio	33
Zinco	2
Rame	7
Titanio	200
Cadmio	? ¹

Non si deve credere che, poichè altri elementi non furono identificati con questo metodo nell'atmosfera solare, essi non esistano perciò nell'atmosfera solare. È manifesto che, perchè un elemento attesti in questo modo la sua presenza, esso non deve soltanto essere presente in quantità relativamente grande, ma anche in condizione tale, da levarsi sopra gli strati inferiori dell'atmosfera del sole in regioni dove prevale una temperatura relativamente più bassa. Perchè i vapori possono esercitare assorbimento sui raggi emessi da un corpo luminoso soltanto quando siano più freddi di questo corpo; e quindi può essere che masse enormi di vapori siano sospese

¹ Negli ultimi anni il numero delle linee corrispondenti a codesti corpi fu di molto accresciuto, per merito principalmente di Thalen, Draper, Ångström, Schuster, Joung, Lockyer. Si è poi trovato che altri elementi esistono nel sole, come il palladio, il vanadio, lo stronzio, il molibdeno, il piombo, l'uranio, il cerio, l'ossigeno, confermata l'esistenza del cadmio, e dimostrata assai probabile quella dell'azoto, dell'indio, dell'argento, del lantanio, dell'ittrio, del carbonio. Finalmente alcune linee si osservarono che, per non appartenere ad alcun corpo terrestre, si attribuiscono ad elementi speciali costitutivi del sole; e fra questi notevole è l'*elio* (Frankland), l'esistenza del quale fu recentemente verificata nella stella β della Lira, dal sig. von Gothard, dell'Osservatorio di Herény in Ungheria.

(Nota del Traduttore.)

nell'atmosfera solare, senza dare alcun indizio spettroscopico della loro presenza, per essere tanto intensamente riscaldate. Sembra dunque probabile, che il sole contenga tutti gli elementi terrestri, e forse in proporzioni non molto diverse da quelle che prevalgono sulla nostra terra.

Benchè le speculazioni di Kirchhoff sulle condizioni del sole non possano confrontarsi colle sue ricerche d'osservazione, sarà utile qui prenderle in considerazione. Egli suppone che il sole consista di un nucleo solido o parzialmente liquido in istato di intenso calore, che emette quindi raggi di tutti gli ordini di rifrangibilità. Intorno a questo nucleo sta una atmosfera estremamente complessa di temperatura relativamente bassa, che contiene i vapori di molti degli elementi che formano il corpo del sole. I raggi di luce emessi dal nucleo sono parzialmente assorbiti dai vapori nell'atmosfera del sole, ciascun vapore assorbendo raggi uguali a quelli che esso emette alla stessa temperatura, e così producendo linee nere che si accordano in posizione colle linee brillanti del suo spettro, come gaz incandescente.

La parte della teoria di Kirchhoff che è certamente vera è quella relativa ai vapori nell'atmosfera solare. È impossibile porne in dubbio l'esistenza, e l'essere più freddi delle sostanze che danno le parti brillanti dello spettro. Ma non è certo in alcun modo che la grande massa del sole consti di materia solida o liquida. Noi abbiamo veduto che, anche alle pressioni e temperature che si possono ottenere con esperimenti terrestri, alcuni vapori danno spettri continui, e

sembra certo che alle enormi pressioni e temperature prevalenti sulla più grande parte del globo solare la più parte dei vapori darà spettri siffatti. Anche se la maggior parte dei vapori costituenti le parti *più profonde* dell'atmosfera solare non desse che spettri a larghe zone, pure dalla combinazione di molti spettri così fatti risulterebbe necessariamente uno spettro continuo. Da quanto noi sappiamo circa il sole, la sua piccola densità media (meno di un quarto di quella della terra) e la mobilità delle sue parti visibili fino ad una grande profondità (dove le pressioni debbono essere enormi), sembra debbano trovarsi buone ragioni per credere che tutta la luce che forma il fondo continuo dello spettro solare provenga da materia gazosa a grande pressione.

Vediamo ora come i nuovi metodi di ricerca, dipendenti dalla scoperta di Kirchhoff, siano stati applicati ad altri problemi connessi col sole. Veramente, sarà bene enunciare in primo luogo le leggi generali dell'analisi spettroscopica, quali risultarono dai fatti descritti nell'ultimo capitolo, non appena la scoperta di Kirchhoff rese manifeste le relazioni reali fra spettri di emissione e di assorbimento. Esse si enunciano come segue:

1.° Un corpo solido o liquido incandescente dà uno spettro continuo;

2.° Un vapore incandescente dà uno spettro di linee o zone brillanti, e ciascun vapore ha, entro dati limiti di temperatura e di pressione, la sua serie caratteristica di linee o zone brillanti. Ma taluni vapori (e probabilmente tutti) a

temperature e pressioni altissime danno spettri continui. Quando uno spettro conosciuto di linee o zone brillanti si accorda collo spettro conosciuto di un vapore entro limiti conosciuti di temperatura, ne possiamo dedurre che la luce viene da questo vapore, e che la temperatura di esso è compresa fra questi limiti. Una simile deduzione si può fare quando uno spettro mostra le linee o zone che appartengono a due o più vapori.

3.° Un corpo incandescente solido o liquido, visto attraverso vapori assorbenti, dà uno spettro continuo attraversato da linee o zone nere, e queste linee o zone hanno la stessa posizione delle linee o zone brillanti che appartengono agli spettri di questi vapori alla medesima temperatura e pressione; di guisa che la natura dei vapori assorbenti che producono queste linee nere o zone si può riconoscere precisamente come la natura dei vapori incandescenti si può riconoscere dai loro spettri a linee brillanti. I vapori assorbenti, che non esistono a temperature tali da essere luminosi, tantochè non se ne conoscono gli spettri a linee brillanti, possono pure essere identificati dalle loro righe nere caratteristiche.

4.° Probabilmente i vapori che ardono a temperature e pressioni altissime, visti attraverso a vapori assorbenti più freddi, danno il medesimo spettro dei corpi solidi o liquidi incandescenti che siano visti attraverso ai medesimi vapori.

5.° La luce riflessa da un corpo opaco dà il medesimo spettro che avrebbe dato prima di essere riflessa, ma più debole. Se il corpo è colo-

rato, saranno relativamente più vivaci le parti dello spettro che sono più liberamente riflesse dal corpo.

6.° Se un corpo opaco è circondato da uno o più vapori, lo spettro della luce ricevuta dal corpo sarà attraversato dalle linee nere caratteristiche di questo o di questi vapori. Così pure la luce riflessa attraverso mezzi assorbenti, o che in qualche modo abbia attraversato tali mezzi, mostra lo spettro che essa avrebbe dato prima di cadere sui mezzi stessi, ma colle linee o zone nere dovute ai mezzi frapposti.

7.° Se il corpo riflettente è esso pure luminoso, lo spettro che gli appartiene si combina collo spettro appartenente alla luce riflessa.

8.° I vapori ardenti che circondano un corpo incandescente faranno comparire linee brillanti o nere nello spettro, a seconda che essi saranno a temperatura più alta o più bassa del corpo stesso; se essi sono alla stessa temperatura, emetteranno tanta luce da compensare per l'appunto quella che essi assorbono, nel qual caso non rimarrà alcuna traccia della loro presenza.

9.° La scintilla elettrica presenta uno spettro a linee brillanti, composto degli spettri appartenenti a quei vapori fra i quali, ed attraverso i quali, la scarica ebbe luogo. L'intensità relativa delle parti componenti lo spettro dipenderà dalla natura di questi vapori e della scarica stessa.

Nelle osservazioni che insino ad ora si fecero sullo spettro solare, la luce analizzata proveniva da tutto il disco del sole. Infatti, raggi di tutte le parti del disco attraversavano la fessura e ca-

devano sulla lente di collimazione. Ma è possibile esaminare lo spettro di porzioni particolari del sole, se, invece di far cadere sulla fessura i raggi di tutto il disco, non si lasciano cadere che quelli di una parte definita del sole. Ciò si può fare usando un telescopio. Se noi dirigiamo un telescopio astronomico verso il sole, si trova una immagine del sole nel fuoco dell'obbiettivo; e se la fessura soltanto occupa questa posizione, non può passare per essere analizzata fuorchè la luce che appartiene ad una porzione dell'immagine solare uguale in estensione all'ampiezza della fes-

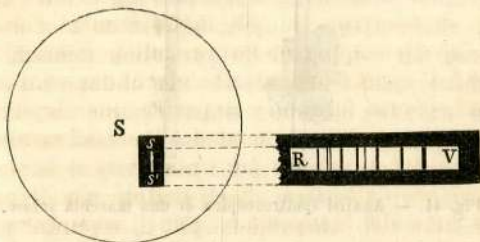


Fig. 43.

Analisi spettroscopica della superficie del sole.

sura. Ciò è illustrato nella fig. 43, dove il circolo *S* rappresenta l'immagine solare, e la sottile linea luminosa *SS'* la porzione di questa immagine che è ricevuta entro la fessura. Ora, ciò che fa realmente lo spettroscopio, è di darci una serie di rappresentazioni di ogni oggetto luminoso, o parte di un oggetto, che sarebbe visibile attraverso la fessura, se lo spettroscopio fosse rimosso. Supponendo adunque, che si osservi una

porzione della fotosfera solare come è SS' (figura 43), le immagini di questa porzione formeranno uno spettro come RV , mostrando le linee nere dovute ai vapori sovrincombenti alla parte SS' della superficie del sole, perchè nessun'altra porzione del disco del sole produce effetto di sorta. Così, mediante questa disposizione, noi possiamo verificare se le varie parti del disco solare danno il medesimo spettro. Noi possiamo esaminare successivamente le parti centrali più brillanti, le parti

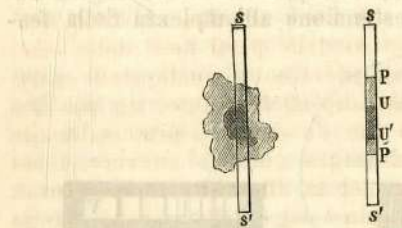


Fig. 44. — Analisi spettroscopica di una macchia solare.

all'orlo più oscure, le facole brillanti, le macchie più grandi o più piccole, e qualunque altra particolarità della superficie solare, che sembri meglio meritare attenzione.

Per illustrare il metodo col quale si conducono tali indagini, supponiamo che lo spazio SS' della fig. 43 cada attraverso una macchia solare nel modo illustrato sulla sinistra della fig. 44. Allora la porzione della superficie solare che è sotto investigazione spettroscopica è quella che sta sotto la fessura SS' a destra della figura. Lo spettro di questa porzione consisterà di molte

immagini di SS' collocate l'una dopo l'altra, in guisa da formare una striscia come RV nella figura 43: in alto ed in basso di questo spettro saranno i due spettri limitati corrispondenti alle parti SP ed $S'P'$; vicino a questi saranno i due spettri limitati delle parti in penombra della macchia, PU e $P'U'$; e nel mezzo sarà uno spettro limitato corrispondente alla parte in ombra UU' ; e tutti questi spettri formeranno uno spettro composto.

Il primo ad applicare questo metodo alle macchie solari fu il sig. Lockyer, che, nel 1866, scoprì che lo spettro delle parti nere delle macchie è in generale identico a quello delle parti più brillanti della superficie solare, ma più debole, mostrando che l'oscurità è principalmente dovuta ad assorbimento generale (ovvero a più debole emissione per la diminuita temperatura). E poichè le parti più oscure delle macchie danno le parti più deboli degli spettri, è chiaro che l'assorbimento (o l'indebolimento di *emissione*) è proporzionato alla oscurità apparente delle macchie. Così appare che la causa dell'oscurità delle macchie è, *non* la vaporizzazione della materia della fotosfera solare, come si supponeva da taluni astronomi del continente, bensì, o l'interposizione di materia relativamente fredda esercitante un assorbimento generale, oppure un raffreddamento di parti della fotosfera. Ma, oltre all'indebolimento dello spettro solare, in corrispondenza alle macchie, si hanno pure indizi di aumentato assorbimento, dovuto ad alcuno dei vapori che producono le linee nere. Così le li-

nee *D* sono notevolmente ingrossate, nel modo che sarà più sotto illustrato (per il caso di una linea d'idrogeno) dalla fig. 67, a pag. 120. Questo risultato ebbe conferma da Secchi, Huggins e Young.

L'esame di porzioni particolari della superficie del sole, specialmente in vicinanza delle macchie, ha mostrato in seguito che le linee dell'idrogeno sono variabili, apparendo talora più nere e più grosse del solito, talora chiare invece che scure, talora scomparendo coll'acquistare la stessa intensità luminosa delle parti vicine dello spettro. Quando una facola forma parte della sezione che si sta esaminando, la linea dell'idrogeno appare ordinariamente brillante. Noi apprendiamo quindi che l'idrogeno infiammato, che forma un importante costituente dell'atmosfera solare, non è sempre nè dappertutto alla medesima temperatura o pressione.

Questo ci conduce a considerare una delle più interessanti applicazioni che si siano fatte sinora dell'analisi spettroscopica — cioè, lo studio degli oggetti che si vedono intorno al globo solare durante le eclissi totali, ovvero, in altre parole, lo studio di quelle parti esterne meno luminose del globo solare, che ordinariamente non si possono vedere.

CAPITOLO QUINTO.

LE PROMINENZE SOLARI, LA CORONA, ECC.

Durante le eclissi totali solari si vedono intorno al disco nero della luna eclissante oggetti rossi, che sono chiamati le prominente solari. Si sa ora che non sono vere prominente, ma si ritiene ancora il nome, perchè corrisponde al loro aspetto. Durante l'eclisse del 1851 si provò che questi oggetti appartengono al sole, non, come alcuno aveva supposto, alla luna; perchè si vide il corpo della luna attraversarli. Ogni dubbio che potesse ancora essere rimasto fu tolto dalle fotografie che Secchi e De la Rue ottennero durante l'eclisse del 1860 in Ispagna. I due disegni che noi riproduciamo per saggio nelle fig. 45 e 46, rappresentano due fotografie prese dal signor De la Rue, la prima sul principio, la seconda sul finire della totalità; e si vede chiaramente che la luna ha attraversate le prominente durante l'intervallo fra questi istanti. Dalle dimensioni osservate di alcune di queste appendici solari, si

vide che esse si estendono alla distanza di 130 a 160 mila chilometri dalla superficie del sole. Ma la natura di esse rimase incognita, finchè lo spettroscopio non fu loro applicato, durante l'eclisse nell'India dell'agosto 1868.

In questa occasione il capitano J. Herschel, il colonnello Tennant, il signor Janssen ed il signor Rayet, riuscirono a vedere lo spettro delle prominente, e lo trovarono composto di linee brillanti. Herschel vide tre linee-rossa, ranciata ed

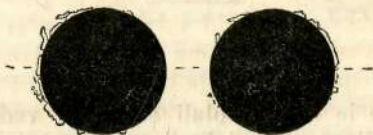


Fig. 45.

Fig. 46.

Da fotografie dell'eclisse totale del Giugno 1860 (De La Rue).

azzurra — che, egli assimilò alle linee *C*, *D* ed *F* di Fraunhofer. Tennant ne vide cinque, che assimilò alle linee *C*, *D*, *b*, *F* e *G* dello spettro solare. Janssen ne vide sei, una rossa, una gialla, due verdi, una azzurra ed una violetta, ed assimilò la rossa e l'azzurra alla *C* ed alla *F* dello spettro solare. Rayet vide nove linee, delle quali assimilò le cinque più vivaci alle linee *B*, *D*, *E*, *b* ed *F* di Fraunhofer.

Fu così provato che le prominente sono masse di vapori ardenti, e reso quasi certo che l'idrogeno è uno dei principali costituenti di queste masse di vapore. Parve anche non improbabile che un altro costituente fosse il vapore infiammato di sodio.

Ma quasi immediatamente a questa scoperta successe un'altra di maggiore importanza, la quale non solo tolse di mezzo tutti i dubbi sulla natura esatta dei componenti gassosi delle prominenze, ma fornì anche agli astronomi il mezzo di studiare questi oggetti senza l'aiuto delle eclissi.

Gli spettroscopisti si erano accorti da lungo tempo che, se le prominenze solari sono gassose, lo spettroscopio deve fornire i mezzi per indicare la presenza quando il sole non è eclissato. Stone, Lockyer, Secchi ed Huggins si diedero tutti pensiero di ciò, ma soltanto Lockyer ed Huggins enunciarono pubblicamente l'idea — Lockyer in modo alquanto vago¹ nell'ottobre 1866, Huggins definitivamente nel febbraio 1868. Il principio del metodo è abbastanza semplice. Nelle osservazioni telescopiche ordinarie del sole, le prominenze sono completamente nascoste alla vista dagli artifizi adoperati per ridurre la luce del sole sopportabile all'occhio. Nè le prominenze possono essere vedute anche quando la luce diretta del sole è esclusa, a causa dell'illuminazione della nostra aria tutt'intorno e sopra alla posizione del sole nel cielo. Ma se la luce del sole e la luce dell'aria illuminata sono disperse

¹ Ecco le sue parole: «Non può lo spettroscopio fornirci una prova dell'esistenza delle *flamme rosse*, che le eclissi totali ci hanno rivelate nell'atmosfera del sole, ancorchè esse sfuggano in altre occasioni a tutti gli altri metodi di osservazione?» Huggins, infatti, rispose a questa domanda, collo stabilire definitivamente, nel febbraio 1868, come ciò si potesse fare.

da uno spettroscopio, la luce delle prominenze non è similmente dispersa. Supponiamo infatti che PP' sia una prominenza (fig. 47), SS' il lembo del sole, ed ss' lo spazio racchiuso dalla fessura. Allora dalla parte pp' noi riceviamo la luce della prominenza, ed anche quella della nostra aria, illuminata dai raggi del sole, e questa parte di luce ci impedisce di discernere quella. Ma, se si adopera lo spettroscopio, la luce dell'aria illuminata (che è luce solare) è dispersa nello spettro solare RV , che è più debole dello spettro adiacente disotto, formato dalla luce che viene da $p's'$, sul lembo del sole. La luce della prominenza è dispersa nelle linee brillanti in C ed F , e presso D . Essa non è, come la luce dell'aria, distribuita sopra un largo spazio RV , ma semplicemente separata in queste linee. Se noi accresciamo la dispersione, rendiamo più debole lo spettro RV , ma soltanto separiamo sempre più le linee brillanti della prominenza. Quindi, se noi solamente abbiamo potere dispersivo sufficiente, possiamo esser sicuri di rendere visibili le linee della prominenza.

Janssen riuscì ad applicare questo metodo il giorno dopo l'eclisse del 1868. Ma la notizia di questo risultato non giunse in Europa che dopo due mesi, ed un giorno o due prima che arrivasse, il signor Lockyer aveva ottenuto un simile risultato. In fatto, una volta indicata la natura gassosa delle prominenze e la posizione delle linee brillanti (da Herschel, Rayet, Tennant e Janssen), era divenuto facile vedere le linee brillanti collo spettroscopio, come mostrò l'esito di

Janssen il giorno immediatamente successivo all'eclisse.

Il nuovo metodo per osservare lo spettro delle prominenze permette all'osservatore di determinare a suo agio, e con tutta esattezza, la vera posizione delle linee delle prominenze. Perchè, come appare dalla figura 47, lo spettro del lembo

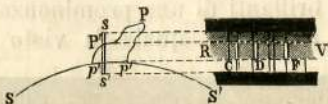


Fig. 47. — Metodo spettroscopico di osservare le prominenze.

del sole può essere visto contemporaneamente, e *dove*, nello spettro solare, sono le molte linee — le linee nere *C, D, F*, e così via — alle quali gli osservatori delle eclissi hanno assimilato le linee brillanti delle prominenze. Non occorre altro che vedere se queste linee nere si accordano colla posizione di quelle brillanti, per dire se le linee delle prominenze sono, o no, dovute alla presenza di quei particolari elementi che producono tali linee solari. Si comprende come, nell'applicazione di questo metodo, lo spettro non si veda tutto in una volta, ma soltanto in piccola parte. È facile adunque riconoscere la necessità di una disposizione automatica, quale è quella illustrata dalla fig. 18, mediante la quale l'adattamento dello spettroscopio per ogni parte del prisma è fatto dallo stesso movimento che porta in vista successivamente ciascuna parte.

Janssen trovò a questo modo che le linee rossa ed azzurra delle prominente coincidono colle linee *C* ed *F*; di guisa che le prominente consistono in parte di vapore infiammato di idrogeno. Egli trovò, invece, che la linea ranciata non corrisponde, come si era supposto, alla doppia linea *D* del sodio. Col nuovo metodo si poterono riconoscere altre linee. La fig. 48 mostra lo spettro a linee brillanti di una prominente, e lo spettro solare adiacente, quale fu visto dal signor



Fig. 48. — Spettro di una prominente.

Lockyer. Si vedrà che delle cinque linee più forti, quattro corrispondono alle forti linee solari *C*, *F*, *G* ed *H*, mentre la quinta è molto vicina alla doppia linea *D* del sodio. Si riconoscerà che vi sono linee più brevi, delle quali una coppia corrisponde alle linee *D*, mentre tre corrispondono al gruppo *b* (magnesio), mostrando che la prominente esaminata conteneva i vapori di sodio e di magnesio, ma non giunti alla medesima altezza dell'idrogeno. Si osserverà ancora che una delle linee del magnesio è più corta delle altre, come se le parti superiori del vapore di magnesio nella prominente abbiano dato uno spettro più semplice delle inferiori — due linee invece di tre — in conseguenza della diminuita pressione e tem-

peratura. La linea F' dell'idrogeno mostra di allargarsi quanto più si avvicina allo spettro solare, in corrispondenza ad un aumento di pressione e di temperatura nelle parti inferiori della prominenza, cui la parte allargata della linea appartiene.

Un esame accurato mostrò che le linee brillanti si possono ottenere in tutte le parti del lembo del sole, benchè non raggiungano che una breve distanza dal lembo dove non sono prominente. Questo strato di materia delle prominente (idrogeno ardente ed altri vapori) che circonda il globo visibile del sole, è talora chiamato la *siera*, talora la *cromosfera*. Il primo nome si accorda bene col nome dato alle prominente; e, poichè fu dato da coloro che osservarono per i primi questo strato, pare preferibile al vocabolo sgraziato cromosfera (che per di più è formato scorrettamente).¹

È facile vedere dalla fig. 47 come la forma di una prominenza possa essere determinata da questo metodo di osservazione. Così l'esame di ognuno delle linee brillanti nello spettro RV della figura 47 mostra che in p' sopra il lembo del sole la materia della prominenza raggiunge l'altezza p , e, muovendo la posizione della fessura da p' a P' , si può riconoscere la forma della prominenza sopra quest'arco del lembo solare. Noi possiamo anche fare un numero qualunque di sezioni

¹ Avrebbe dovuto essere *cromatosfera*, perchè effettivamente cromosfera è altrettanto scorretto, come sarebbe « cromico » per cromatico, oppure « cronatico » per cronico.

trasversali di una prominenza in altre direzioni. Per esempio, se SS' (fig. 49) è una parte del lembo del sole, PP' una prominenza, noi possiamo ottenere per una striscia come SS' lo spettro RV , e, combinando un certo numero di striscie prese parallele ad SS' noi possiamo apprenderne la vera forma della prominenza PP' .

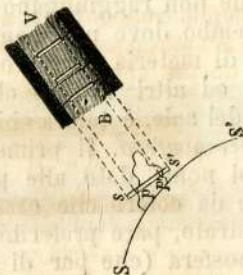


Fig. 49.

Metodo spettroscopico di osservare attraverso le sezioni di una prominenza.

Ma il signor Huggins mostrò sul principio del 1869, che, usando di un potere dispersivo sufficiente, si può vedere in una sol volta tutta una prominenza (di moderata estensione). Se noi ricordiamo che lo scopo essenziale di restringere la fessura è di allontanare le immagini, che altrimenti si sovrapporrebbero, si vedrà che, per quanto almeno concerne lo spettro delle prominenze, non è richiesta una stretta fessura. In fatti, quando noi stiamo esaminando da sola una prominenza, noi possiamo dispensarci affatto da una fessura, se appena il potere dispersivo dello spettroscopio

basta a separare fra loro le immagini corrispondenti alle parti rossa, ranciata e verde della prominente. Ma poichè, quando il sole non è ecclissato, la prominente è illuminata dalla luce riflessa dalla nostra aria, noi dobbiamo in qualche modo limitare la quantità di questa luce che giunge all'occhio. Noi possiamo dunque aprire la fessura soltanto fin dove lo permette il potere dispersivo dello spettroscopio. Supponiamo, ad esempio, che, invece di una stretta fessura, come la SS' delle fig.^e 47 e 49, noi ne abbiamo una aperta, come



Fig. 50.

Metodo di Huggins per osservare una prominente intera mediante lo spettroscopio.

SPS' nella fig. 50, ed usiamo di uno spettroscopio a grande potere dispersivo, formando lo spettro continuo RV dell'illuminazione atmosferica ricevuta attraverso la larga fessura. Allora, se nello spazio racchiuso dalla fessura aperta si ha una prominente, come PP' , si formerà una immagine rossa, una ranciata ed una verde-azzurra della prominente, alle parti corrispondenti dello spettro RV . Ora la luminosità dello spettro continuo RV sarà tanto maggiore, quanto più aperta è la fessura, ma andrà diminuendo col crescere del potere dispersivo dello spettroscopio — e quindi della lunghezza dello spettro. — Così, aumentando il potere dispersivo, si può diminuire

la luminosità dello spettro continuo *RV* abbastanza da lasciar vedere le immagini della prominenza, non tutte ad una volta, naturalmente, ma l'immagine rossa, la ranciata o la verde azzurra, a seconda che il movimento del telescopio e della batteria automatica di prismi porta nel campo visuale la parte rossa, la ranciata, o la verde-azzurra dello spettro *RV*.

La fig. 51 rappresenta un disegno del signor



Fig. 51.

Prima prominenza veduta col metodo della fessura aperta.

Huggins, della prima prominenza che sia mai stata veduta con questo metodo.

Nella applicazione pratica di questo metodo si introdussero grado a grado opportune modificazioni. Veramente, era soprattutto a questo fine che gli spettroscopii automatici tendevano in origine, e si ideavano disposizioni per assicurare grande potere dispersivo. Huggins, ottenendo il disegno riprodotto dalla fig. 51, fu obbligato ad accrescere l'azione dispersiva del suo strumento, adoperando un vetro rosso scarlatto, nell'esaminare l'immagine rossa della prominenza. Ma, cogli strumenti più potenti adoperati in seguito, non si ebbe più simile occasione di invocare l'assorbimento in ajuto della dispersione.

Sarebbe molto interessante per il lettore, se

noi potessimo qui considerare i risultati che derivarono dall'uso di questo metodo di osservazione, ma l'argomento è troppo esteso per un libro come questo, ed appartiene propriamente ai trattati sul sole. Sarà facile tuttavia al lettore il riconoscere, dalle fig.^e 52 e 53, quanta luce gettino siffatte osservazioni sulla natura delle prominenze solari. La fig. 52 mostra un gruppo di prominenze solari, che si estende circa 50 mila chilometri in altezza (cioè, dal lembo del sole). La fig. 53 mostra il medesimo gruppo un'ora dopo, dopo il quale intervallo, per quanto breve, la posizione di que-

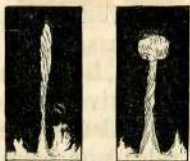


Fig. 52. Prominenza solare. — Fig. 53. La stessa un'ora dopo.

ste masse di vapore incandescente aveva notevolmente cambiato — perchè la larghezza di un capello in ciascuno dei due disegni rappresenta poco meno di venti chilometri.

Zöllner, Young, Lockyer, Secchi, Respighi, ed altri hanno studiato più o meno sistematicamente con questo metodo le prominenze solari. Si può riassumere qui brevissimamente ciò che essi hanno scoperto. Le prominenze sono più larghe e più numerose sopra quelle due zone della superficie del sole (corrispondenti per posizione alle zone temperate sulla nostra terra) dove si vedono

macchie, ma si trovano pure nelle regioni polari ed equatoriali del sole. Esse possono dividersi in due classi: prominenze eruttive e nubi prominenze. Le prime sono formate di vapori ardenti che sono spinti al difuori con enorme velocità dalla superficie del sole (probabilmente da profondità notevoli al disotto di questa superficie), e, dopo aver raggiunta un'altezza variabile fra 30 mila e più di 150 mila chilometri, si spandono lateralmente, scendendo poi a gradi verso la superficie, ma continuando sempre a scorrere per vari giorni, ad enormi altezze. La seconda classe è come di nubi di vapore ardente nell'atmosfera solare, si vede sempre a grande altezza, pur non oltrepassando i 125 mila chilometri, e cambia di forma, benchè meno rapidamente delle prominenze eruttive. Le nubi prominenze soltanto si possono vedere sulle regioni equatoriali e polari del sole; non sono brillanti al pari delle prominenze eruttive, e, mentre queste ultime talora mostrano, oltre alle linee dell'idrogeno, quelle degli spettri metallici (sodio, magnesio, ferro, ecc.) fino a grande altezza, le nubi prominenze non mostrano che le linee dell'idrogeno e quella vicina a *D*. Le prominenze di ambedue le specie sono poco numerose e raggiungono appena piccole dimensioni, quando il sole mostra poche macchie, nel qual tempo le prominenze eruttive si possono a stento vedere. Inoltre, noi dobbiamo considerare la prova spettroscopica di rapidi movimenti in alcune delle prominenze.

Noi abbiamo veduto che nella parte inferiore

delle prominenze si trovano il sodio, il magnesio ed altre sostanze; e si comprenderà come nella cromosfera, la quale vuol essere considerata semplicemente come un substrato di materia delle prominenze, le linee di questi elementi si vedano di frequente. Il professore Young ha mostrato che talora lo spettro della cromosfera contiene un numero considerevole di queste linee. Portando un potente telescopio in una stazione sulle Montagne Rocciose, a 2100 metri sul livello del mare, egli ha potuto determinare la posizione di non meno che 273 linee brillanti nello spettro della cromosfera. Queste linee indicarono la presenza nella cromosfera, od almeno nelle sue parti inferiori, del sodio, del ferro, del magnesio, del bario, del calcio, del cadmio, del titanio, del manganese, del solfo, del cerio, dello stronzio, e — con probabilità alquanto minore — dello zinco, dell'erbio, dell'ittrio, del lantanio e del didimio. Egli osservò pure « alcune coincidenze cogli spettri dell'ossigeno, dell'azoto e del bromo, ma non sufficienti, visto il numero totale di linee negli spettri di questi elementi » a garantire una conclusione positiva. Una linea sembra indicare la presenza o dell'iridio o del rutenio.

Noi dobbiamo pure al prof. Young un'altra scoperta molto interessante. Gli venne in mente che dovesse essere possibile, al momento in cui un'eclisse totale di sole incomincia o finisce, ottenere lo spettro che appartiene alla complessa atmosfera di vapori che circonda il sole. In condizioni ordinarie, noi sappiamo che il sole dà uno spettro coi colori dell'iride (come si dice),

attraversato da linee; e noi sappiamo inoltre che lo spettro continuo coi colori dell'iride viene dalla massa incandescente del sole, mentre le linee sono prodotte dall'azione assorbente dei vapori relativamente freddi che circondano questa massa. Ma tali vapori, ancorchè relativamente freddi, debbono essere in realtà intensamente riscaldati, perchè il ferro (se vogliamo prendere uno soltanto dei vapori costituenti) non è vaporizzato che ad una altissima temperatura. Questi vapori adunque, quando risplendono da soli, debbono dare uno spettro costituito da una moltitudine di linee brillanti — in sostanza, delle medesime linee, che, progettate sul fondo più brillante dello spettro solare continuo, sembrano nere. Ora, quando il sole si eclissò totalmente nel 1868 e nel 1869, si trovò che la luce proveniente da materia esterna al suo globo incandescente non diede questa moltitudine di linee brillanti. Quindi risultò chiaramente che la complessa atmosfera solare non si eleva tanto alto sulla superficie del sole da poter essere da noi veduta — certamente non tanto alto come la cromosfera, perchè mentre la luce della cromosfera rimase sotto osservazione, non si vide lo spettro delle migliaia di linee brillanti. Era ancor possibile, tuttavia che lo spettro di molte linee brillanti potesse essere veduto, se specialmente si avesse badato a questo nel preciso istante in cui il sole è totalmente eclissato, o nel preciso istante che precede la sua ricomparsa, dopo l'eclisse. Era infatti probabile (come io ho accennato poco prima dell'eclisse del 1870) che l'at-

atmosfera complessa del sole non fosse molto profonda, rispetto alle dimensioni proprie del sole; e, ciò essendo, la sua luce avrebbe agito *da sola* per un secondo o due dopo il principio della totalità, e per un secondo o due prima che la totalità finisse. All'intento di determinare se ciò sia vero o no, il prof. Young diresse uno spettroscopio verso la parte del lembo del sole che doveva essere l'ultima a scomparire in occasione dell'eclisse totale del dicembre 1870. Finchè una parte del sole rimase visibile, egli vide lo spettro solare ordinario, che veramente si andava facendo più e più debole, man mano che il sole scompariva dalla vista. Finalmente questo spettro scomparve affatto, ed allora apparve improvvisamente lo spettacolo più bello che le osservazioni spettroscopiche possano dare — migliaia di linee brillanti, lo spettro di quella complessa atmosfera solare che, nelle condizioni ordinarie, produce colla sua azione assorbente le linee nere corrispondenti dello spettro solare. Lo spettacolo non durò che pochi secondi, perchè il corpo della luna avanzandosi, celò ben presto l'atmosfera solare, come aveva già celato il globo solare; ma, appunto prima che il globo ricomparisse, l'atmosfera fu di nuovo visibile, senza la luce solare diretta, per pochi secondi; e durante questo tempo si vide ancora il vago spettacolo di una moltitudine di linee brillanti di tutti i colori dell'iride, e disposte nell'ordine dell'iride stessa.

Oltre alle prominenze solari, si può vedere durante le eclissi totali la corona solare, un' aureola

di luce che talora si estende ad una distanza dal sole che supera il suo diametro apparente. Il suo aspetto ordinario è rappresentato dalla fig. 54, ma talora essa presenta striscie di luce curiosamente incurvate, quali sono quelle dis-

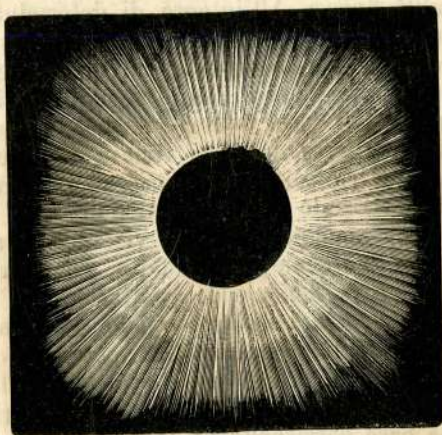


Fig. 54. — La corona solare (eclisse del 1842).

gnate nella fig. 55¹. La corona presenta fenomeni che, studiati accuratamente, mostrano che la sua luce proviene da materia circostante al sole; ve-

¹ La luce della corona è ordinariamente troppo delicata perché gli osservatori riconoscano questi particolari. Ma fortunatamente durante l'eclisse del 1871 (visto nell'India ed altrove) si ottennero fotografie della corona che presentano una meravigliosa complessità di struttura. Soltanto un'incisione in acciaio può presentare convenevolmente l'aspetto della corona. Per i particolari che risultano dalle fotografie allora ottenute, vedi la Tavola IX del *Trattato sul Sole* dell'Autore. (Nota dell'Autore.)

ramente su questo punto si ebbero dubbj per lungo tempo (perchè solo ai matematici ne era accessibile l'evidenza), e non fu se non quando si ottenne la dimostrazione facilmente intesa delle fotografie di eclissi, che la generalità si avvide che la corona è un appendice del sole. Lo spettroscopio diede una prova preziosa su questo punto, ma a risparmio di tempo considereremo

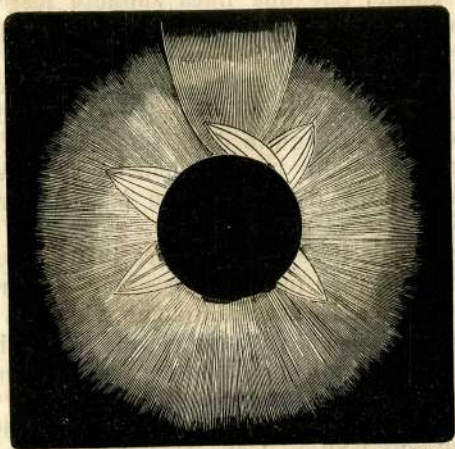


Fig. 55 — La corona solare (eclisse del 1858; Ziaïs).

i risultati spettroscopici indipendentemente da una questione che è oramai definitivamente risolta.

Durante l'eclisse del 1869, osservata in America, si trovò che, mentre una porzione di luce della corona dà un debole spettro continuo, nel quale gli osservatori Americani non poterono di-

stinguere linee nere, un'altra porzione dà uno spettro composto di una brillante linea verde (si videro due altre linee, che probabilmente appartengono alla luce delle prominenze). La linea brillante fu identificata dal prof. Young con una linea del ferro (che porta il numero 1474 nella scala di Kirchhoff), e grande perplessità si destò per le questioni così sollevate. Come avvenne, per esempio, che una linea soltanto fosse visibile, delle molte linee appartenenti allo spettro del ferro? E di più, in quali condizioni il ferro poteva sussistere, a tanta distanza dal sole, in forma di vapore incandescente? Tali difficoltà furono tolte in seguito dalla scoperta di Young che la linea della corona, benchè assai vicina alla linea 1474 del ferro, non è assolutamente identica ad essa per posizione.

Durante l'eclisse del dicembre 1870, i risultati ottenuti nel 1860 furono in generale confermati. Ma Denza, un osservatore italiano, vide due linee brillanti nello spettro della corona, fatto che farebbe credere alla probabilità che la corona sia variabile.¹

Durante l'eclisse del dicembre 1871, Respighi osservò che le linee brillanti della corona si ottengono da materia che è ad oltre trecento mila chilometri di distanza dalla superficie del sole; perchè, usando una batteria di prismi senza fes-

¹ Il Young non pare molto persuaso di questo fatto, anzi pone in dubbio la realtà della linea nel giallo verde, che a lui, prima del Denza, era sembrato di vedere nel 1869.

(Nota del Traduttore.)

sura, egli vide tre immagini spettrali colorate della corona, estese a questa distanza dal sole. Due di queste immagini erano dovute all'idrogeno incandescente, la terza alla linea vicina alla 1474. In questa occasione Janssen mostrò che, oltre alla linea 1474 ed alla linea dell'idrogeno, esistono parecchie linee più deboli nello spettro gassoso della corona. Ma egli fece una scoperta ancor più importante, notando che le linee nere solari si possono riconoscere sul debole spettro continuo della corona, il che mostrò che, oltre alle materie gassose della corona, vi deve essere materia atta a riflettere la luce solare. Si può dedurne ragionevolmente che questa materia non è altro che la parte più condensata della polvere meteorica che circonda il sole dappertutto, ma più fitta vicino al piano nel quale, o vicino al quale si muovono i pianeti.

Pare che la luce zodiacale, probabilmente dovuta alla medesima polvere meteorica, dia pure un debole spettro continuo, nel quale probabilmente le linee nere solari potrebbero essere riconosciute, se non fosse l'eccessiva debolezza dello spettro, e la necessità, che ne deriva, di usare una larga fessura. Alcuni osservatori hanno supposto che lo spettro della luce zodiacale consista delle medesime linee brillanti che formano lo spettro dell'aurora boreale; ma risulta dalle osservazioni del prof. Piazzzi Smyth che ciò non avviene. Queste linee brillanti (v. capitolo VII) furono talvolta vedute nello spettro della luce diffusa da tutte le parti del cielo, e possono così essere state prese erroneamente come ap-

partenenti allo spettro della luce zodiacale. Ma il vero spettro di questa strana luminosità è continuo.¹

¹ È da notare che il dottor Vogel reputa probabile che lo spettro dell'aurora boreale non sia che una modificazione di quello dell'aria

(Nota del Traduttore.)

CAPITOLO VI.

SPETTRI DELLE STELLE, DELLA LUNA, DEI PIANETI, DELLE COMETE, ECC.

Non appena fu riconosciuto il significato reale dello spettro solare, gli astronomi si rivolsero con ardore rinnovato allo studio degli spettri delle stelle, dei pianeti e degli altri corpi celesti. Noi abbiamo già veduto che le stelle danno spettri rassomiglianti nei tratti generali a quello del sole, ma diversi nei particolari. Dunque la scoperta di Kirchhoff, rispetto allo spettro solare, si riferisce in generale anche alle stelle. Essa mostrò che le stelle rassomigliano al nostro sole, per essere masse incandescenti per elevato calore, e così emananti luce a spettro continuo; mentre queste masse son inviluppate da vapori relativamente freddi, che quindi assorbono certe porzioni della luce che viene dalla massa incandescente interna, di guisa che lo spettro stellare è solcato da linee nere. Così, quando si riprese

l'investigazione sugli spettri stellari, il suo scopo non fu di determinare se le stelle siano soli o no, in quanto che questo era già noto, ma di determinare quale qualità di soli esse siano, di classificarle nei loro vari ordini, se tali ordini esistono: e di verificare quali cangiamienti subisca, se ne subisce, la loro luce.

Il primo a distinguere vari ordini fra le stelle (per provare, in linea di fatto, che « una stella differisce dall'altra in gloria ») fu il dott. Luigi Rutherford, di Nuova York. Egli trovò che talune stelle somigliano assai al nostro sole, per quanto si riferisce ai loro spettri; che altre, compreso Sirio e talune delle stelle più brillanti, sono distinte per la notevole intensità e larghezza delle linee nere dell'idrogeno; e che altre hanno spettri caratterizzati da larghe zone.

In seguito il padre Secchi, in Italia, riprese le indagini, osservando un gran numero di stelle, e notando i particolari dei loro spettri che non erano accessibili allo spettroscopio di Rutherford. Contemporaneamente Huggins e Miller, in Inghilterra, stavano compiendo una serie di osservazioni ancor più esatte, per la determinazione degli elementi esistenti nell'atmosfera gassosa di alcune stelle fra le più brillanti. I risultati ottenuti da Secchi sono più generali di quelli ottenuti da Huggins e da Miller; ma questi ultimi in realtà sono più importanti, e debbono essere considerati per i primi.

Vuolsi premettere che l'immagine di una stella nel fuoco dell'obbiettivo telescopico è un piccolo punto luminoso, e questo, se trattato al modo

ordinario nello spettroscopio, presenterebbe semplicemente una linea iridescente, inapplicabile all'indicazione dei colori mancanti. È necessario, adunque, alterare l'immagine ad essere una linea, e ciò si ottiene coll'uso di una lente cilindrica. Una siffatta lente (a differenza delle lenti convesse o concave, che fanno convergere più o meno rapidamente ad un punto i raggi che cadono sopra di esse) devia i raggi sovr'essa incidenti in guisa che essi convergono a due linee focali ¹, una delle quali si può far cadere sulla fessura dello spettroscopio. Allora questa linea di luce si può esaminare al solito modo. Si può anche formare dapprima lo spettro lineare, ed usare una lente cilindrica nel telescopio per esaminare lo spettro ². Nello spettroscopio adoperato

¹ Supponiamo che un fascio di raggi dall'obbiettivo circolare di un telescopio vada al fuoco F , e che lungo il cammino di questo fascio, normalmente al suo asse, sia frapposta una lente convessa. Allora i raggi sono portati ad un altro punto F' sull'asse del fascio, ma F' è più vicino di F all'obbiettivo. Ora se, invece di una lente convessa ordinaria, si frappone una lente convessa cilindrica, il cammino di un raggio da un punto dell'obbiettivo ad F è interrotto; ma invece di essere deviato verso F' sull'asse del fascio, come se girasse intorno al centro della lente, il raggio è deviato come se girasse intorno all'asse della lente cilindrica, e (quando le lenti siano di eguale lunghezza focale) passa per un punto della retta condotta per F' parallelamente all'asse della lente, indi prosegue per un punto della retta condotta per F ad angolo retto coll'asse della lente. Queste linee per F ed F' sono le linee focali della lente cilindrica. — Simili considerazioni si applicano ad una lente cilindrica concava, soltanto in questo caso il punto F' è più distante del punto F dall'obbiettivo.

(Nota dell'Autore.)

² Il signor Huggins, commentando l'osservazione di Shellen che entrambi i metodi si possono usare, dice che le lenti cilindriche do-

dal signor Huggins si adottò la prima disposizione. Questo spettroscopio è illustrato nella figura 56. Sulla sinistra si vede, la lente cilindrica (piano-convessa, di guisa che la faccia visibile è piana). Questa è dalla parte dell'occhio di un grande telescopio, al quale naturalmente si è levato l'oculare. Le linee punteggiate mostrano dove arriva il tubo che porta lo spettroscopio rappresentato dalla figura. Si vede che questo spettroscopio differisce di poco da uno spettroscopio ordinario a due prismi. Il prisma di confronto si vede vicino alla lente cilindrica. La fessura è semicoperta, come d'ordinario, da questo prisma, attraverso il quale si riceve la luce della scintilla elettrica e se ne porta lo spettro a diretto confronto con quello della stella, per determinare se l'inviluppo vaporoso della stella contiene la sostanza vaporizzata nella scintilla elettrica.

Uno spettroscopio stellare a visione diretta, pure costruito da Browning (ad uso precipuo dei diletianti), è illustrato nella fig. 57. Ivi *E* è la lente cilindrica (piano-convessa), *K* il prisma di confronto, e *B* è la lente acromatica di collimazione, che rende i raggi paralleli, prima di entrare nel prisma composto *A* a visione diretta.

Una disposizione ancor più conveniente è adottata nel nuovo spettroscopio stellare di Mc. Clean

vrebbero essere collocate prima della fessura (cioè fra l'obbiettivo e la fessura). Probabilmente egli trova in pratica alcuni vantaggi con questa disposizione; ma teoricamente l'un metodo e l'altro sono corretti.

(Nota dell'Autore.)

(fig. 58), mediante il quale si possono vedere linee di squisita finezza negli spettri delle stelle, senza

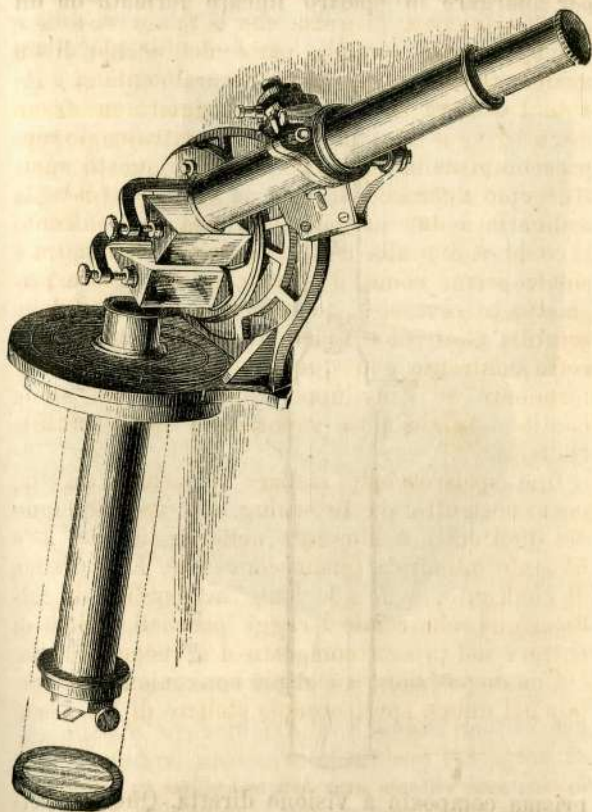


Fig. 56.

Spettroscopio stellare costruito da Browning per Huggins.

l'uso di alcuna fessura, adoperando invece una lente concava cilindrica (che si vede nella figura), per allargare lo spettro lineare formato da un

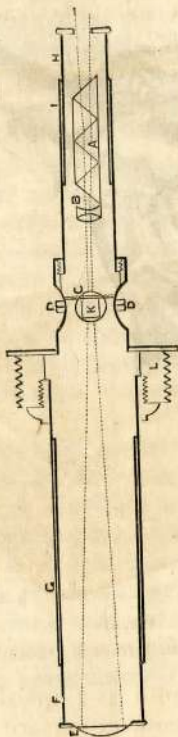


Fig. 57. — Spettroscopio stellare a visione diretta (Browning).

prisma composto a visione diretta. Questo spettroscopio non è, in realtà, altro che un oculare spettroscopico, sostituito all'oculare ordinario

quando si deve esaminare lo spettro di una stella. Il signor Mc Clean ha appunto applicato al suo telescopio un tubo girevole, mediante il quale si può fare il cambiamento all'istante. Questo spettroscopio è non soltanto straordinariamente



Fig. 58.

Nuovo spettroscopio stellare di Mc Clean (Browning).

semplice e conveniente per questi motivi, ma, non essendovi necessità di portare l'immagine focale di una stella sopra una sottile fessura, dà molto più facilmente lo spettro e lo porta nel campo senza bisogno di un movimento d'orolo-

adoperarsi con un telescopio altazimutale, ancorchè, veramente, non colla stessa convenienza che con un equatoriale.¹

Le due stelle Aldebaran (la stella rossa brillante nella testa del Toro) e Betelgeux (la più brillante delle due stelle nell'omero di Orione) furono esaminate con somma cura dal Huggins e Miller; invero alcuna stella del cielo non ricevette un'analisi spettroscopica così accurata come queste due. Come si vede dalla fig. 59, si osservarono in ambo gli spettri circa ottanta linee, e ne furono accuratamente determinate le posizioni, mediante confronto colle linee spettrali di parecchi elementi terrestri. La tavola seguente presenta il risultato del confronto:

¹ Non essendo fra i lettori italiani diffusa come fra gli inglesi la conoscenza degli istrumenti astronomici, dirò che per montatura altazimutale s'intende quella che permette di imprimere al telescopio due movimenti perpendicolari fra loro, uno in un piano verticale, e l'altro in un piano orizzontale. Il primo varia l'altezza, il secondo l'azimut (angolo del piano verticale di un oggetto osservato col meridiano). La montatura equatoriale invece è tale che il telescopio possa muoversi in un piano parallelo ed in un piano perpendicolare all'asse della terra; e poichè ogni stella compie in 24 ore una rotazione apparente intorno a questo asse, è chiaro che con un congegno di orologeria, che imprima un movimento uguale al telescopio intorno al suo asse parallelo a quello della terra, si potrà conservare sempre la stella nel campo, durante il suo cammino apparente. È per questa ragione che la montatura equatoriale è adottata generalmente per le ricerche sulla natura e sulle apparenze fisiche dei corpi celesti, le quali esigono un esame prolungato dei corpi stessi.

(Nota del Traduttore.)

*Elementi terrestri confrontati con Aldebaran.***Coincidenti.**

1. Idrogeno (linee *C* ed *F*).
2. Sodio (doppia linea *D*).
3. Magnesio (tripla linea *b*).
4. Calcio (quattro linee).
5. Ferro (*E* e quattro altre linee).
6. Bismuto (quattro linee).
7. Tellurio (quattro linee).
8. Antimonio (tre linee).
9. Mercurio (quattro linee).

Non coincidenti.

- Azoto (tre linee).
 Cobalto (due linee).
 Stagno (cinque linee).
 Piombo (due linee).
 Cadmio (tre linee).
 Bario (due linee).
 Litio (una linea).

*Elementi terrestri confrontati con Betelgeux.***Coincidenti.**

1. Sodio (doppia linea *D*).
2. Magnesio (linea tripla *b*).
3. Calcio (quattro linee).
4. Ferro (*E* e quattro altre linee).
5. Bismuto (quattro linee).
6. Tallio (?)

Non coincidenti.

- Idrogeno (due linee).
 Azoto (tre linee).
 Stagno (cinque linee).
 Oro (?).
 Cadmio (tre linee).
 Argento (due linee).
 Mercurio (due linee).
 Bario (due linee).
 Litio (una linea).

Noi non vorremo certo inferire dall'assenza delle linee conosciute di un elemento che questo elemento sia assente. Sarebbe in particolare mal sicuro il supporre che l'idrogeno manchi nell'inviluppo gassoso di Betelgeux e di altre stelle, negli spettri delle quali le linee dell'idrogeno

non sono visibili. Io ho già mostrato nel capitolo IV come si possa spiegare l'assenza di linee particolari dallo spettro del sole, e quella dimostrazione vale ancor più per le vedute relativamente imperfette che noi otteniamo degli spettri stellari. Ancora, ciò che noi abbiamo appreso circa le linee dell'idrogeno nel sole mostra come queste linee possano essere più forti o più deboli, od evanescenti, o cambiate in linee brillanti, nello spettro di un medesimo corpo.

Altre stelle furono osservate da Huggins e Miller, e presentarono simili risultati. Lo spettro di Sirio è rappresentato nel frontispizio, spettro 10. Vi si nota che le linee dell'idrogeno sono considerevolmente forti; è pure accertata la presenza del sodio e del magnesio, e sospetta quella del ferro. Vega (la stella principale della Lira) presenta un simile spettro. Capella ha uno spettro che somiglia a quello del nostro sole, come, in minor grado veramente, Arturo. Entrambe queste stelle presentano la linea doppia *D* del sodio. Polluce contiene sodio e magnesio, e probabilmente ferro. Procione ed Arided presentano entrambe le linee del sodio. Quasi un centinaio di stelle fa esaminato più o meno particolarmente da Huggins e Miller.¹

Secchi, seguendo un sistema assai meno esatto e laborioso, fece un'indagine più estesa, osser-

¹ Capella è α dell'Auriga, Polluce β dei Gemelli, Arturo α di Boote, Procione α del Cane Minore, Arided α del Cigno, Sirio α del Cane Maggiore, Altair α dell'Aquila, Regolo α del Leone, Rigel α di Orione.

(Nota del Traduttore.)

vando non meno di seicento stelle. Egli trovò che gli spettri delle stelle da lui osservate potevano dividersi in quattro ordini ben distinti.

Il primo ordine comprende la maggior parte delle stelle che splendono di luce bianca o bianco-azzurrognola. La stella brillante Sirio si può assumere come il tipo di quest'ordine (v. frontispizio). Esso comprende Sirio, Vega, Altair, Regolo, Rigel, le stelle β , γ , δ , ϵ , ξ ed η dell'Orsa Maggiore, le stelle più notevoli di Ofiuco, ecc. Le quattro linee dell'idrogeno sono notevolmente forti. Oltre a queste linee vi si possono vedere cinque linee nere del sodio nel giallo, le principali linee del magnesio, e probabilmente alcune linee del ferro (il metodo di Secchi non gli permise di verificare queste coincidenze). Nelle stelle più deboli di questo ordine non è facile scoprire la linea *C* dell'idrogeno, perchè la parte rossa dello spettro è debole. Veramente, in tutte le stelle di questo tipo le parti rossa e gialla dello spettro sono molto più deboli del rimanente. La metà circa delle stelle osservate da Secchi appartiene a questo tipo.

Il secondo ordine è quello delle stelle gialle, come Capella, Polluce, Aldebaran, Arturo, α dell'Orsa Maggiore, Procione, ecc. Gli spettri di queste stelle somigliano moltissimo a quello del sole, presentando un grande numero di linee nere finissime, le più forti delle quali si possono identificare con quelle dello spettro solare. Si deve notare che non tutte le stelle classificate sotto questo tipo hanno il medesimo spettro. Quello di Procione, ad esempio, ha caratteri in-

termidii fra il primo ed il secondo tipo, mentre quello di Aldebaran è intermedio fra il secondo ed il terzo. Circa un terzo delle stelle osservate da Secchi appartiene al secondo ordine.

Il terzo ordine comprende Betelgeux, Antares (α del Scorpione), Scheat (β di Pegaso), α di Ercole, ed altre, principalmente di color rosso o ranciato. Lo spettro è abbastanza notevole, essendo composto di un doppio sistema di zone nebulose, e di linee nere (vedi lo spettro di Betelgeux, fig. 59). Le linee precipue del secondo tipo si vedono, ma quelle dell'idrogeno sono più deboli, o non distinguibili affatto. In generale lo spettro del terzo ordine assomiglia a quello di una macchia solare, donde Secchi inferisce che tali stelle abbiano alla loro superficie macchie simili a quelle del nostro sole, ma relativamente assai più estese. Quest'idea è fino ad un certo punto confermata dal fatto, che fra le stelle di questo tipo sono alcune delle più notevoli stelle variabili. Betelgeux, per esempio, è designata come variabile irregolarmente; Scheat ed α Herculis sono entrambe variabili; e la più ammirabile stella che presenti regolari variazioni nel cielo, o della Balena (giustamente chiamata *Mira*), che brilla come una stella di seconda grandezza per due settimane ad intervalli di 330 giorni, occupando tre mesi nel crescere dall'invisibilità alla sua massima grandezza, ed altrettanto tempo scomparire, appartiene pure a quest'ordine. Sembra ragionevole inferire, dalla natura dei loro spettri, che queste stelle siano variabili in conseguenza di larghe macchie sulla loro superficie,

variabili per numero ed estensione a mo' delle macchie solari. Appartengono a questo ordine circa trenta delle stelle esaminate da Secchi.

Il quarto ordine consiste di stelline rosse, ed è caratterizzato da uno spettro di tre righe brillanti, superate da spazi neri intermedi. La riga più brillante è situata nel verde, le altre nell'azzurro e nel rosso. Tutte queste righe sono più brillanti dalla parte rivolta verso il violetto, dove la luce termina bruscamente, mentre verso il rosso esse vanno degradando nel nero.

Un quinto ordine si può aggiungere ai quattro di Secchi. Esso consiste di stelle gli spettri delle quali presentano le due linee *C* ed *F* dell'idrogeno brillanti invece di nere. Fra le stelle di questa classe sono γ Cassiopeiae, β Lyrae (ambedue variabili), e la variabile irregolare più ammirabile del cielo, η d'Argo, nella quale Le Sueur, adoperando il grande telescopio di Melbourne, vide le linee *C*, *b*, *F*, una linea vicina a *D* (la *D*_s delle prominenze), e la più forte delle linee dell'azoto, tutte brillanti. Si può concepire che, come le stelle del terzo tipo di Secchi sono probabilmente coperte di molte e grandi macchie, così le stelle del quinto tipo siano coperte di larghe masse faculari, e probabilmente di prominenze eruttive.

Questa interpretazione degli spettri della quinta classe è confermata dall'aspetto dello spettro della stella temporanea, che si accese il maggio 1866, nella costellazione della corona boreale. Lo spettro di questa stella (chiamata d'allora in poi *T*

Coronae ¹⁾ è rappresentato nella fig. 60, quale fu visto da Huggins. Esso mostra chiaramente che la luce della stella nella sua condizione anormale era di due sorta. Una parte dava lo spettro continuo ordinario, solcato da molte linee sottili. L'altra dava quattro linee luminose (indicate con 1, 2, 3 e 4 nella figura), e così brillanti da mostrare in esse concentrata la maggior parte della luce della stella. La linea 2 era identica in posizione alla *F* dell'idrogeno, ed apparentemente

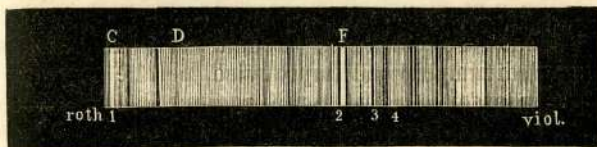


Fig. 60. — Spettro della stella temporanea T Coronae.

la 1 alla *C* dell'idrogeno. L'ipotesi suggerita per spiegare lo spettro e l'improvviso aumento di luce della stella, è che per una causa qualunque (come la caduta di una massa pesante sopra *T* Coronae) la stella sia salita improvvisamente ad un'alta temperatura, che fece brillare d'intensa luce l'idrogeno circondante la stella, e può anche avere determinato probabilmente l'eruzione di enormi quantità di idrogeno incandescente dal fondo della fotosfera della stella. Man mano che diminuiva lo splendore della stella, diminuiva

¹ Da non confondersi, come si è fatto in alcuni trattati sull'Analisi Spettrale, con τ Coronae, stella della quinta grandezza, nota da tempo immemorabile agli astronomi. (Nota dell'Autore.)

pure la luminosità delle quattro linee, e quella dello spettro continuo. Presentemente *T Coronae*, che ora brilla come una stella di decima grandezza, dà lo spettro ordinario di una debole stella.

Il 24 novembre 1876 fu osservata un'altra stella *nuova* nella costellazione del Cigno. Essa fu scoperta dal professor Schmidt, dell'Osservatorio di Atene, ed alla sua prima osservazione brillava come una stella di terza grandezza, in una parte della costellazione dove alcuna stella non era prima visibile stella ad occhio nudo, od almeno, non era stata registrata in alcuna carta. Essa deve aver divampato all'improvviso, perchè Schmidt aveva osservato in quella regione la notte del 22 novembre (il 23 era nuvoloso). Essa andò poi gradatamente spegnendosi, benchè non sia scomparsa interamente di vista all'occhio nudo per due o tre mesi,

Lo spettro di questa stella fu esaminato dal signor Cornu, dell'Osservatorio di Parigi. Egli vi trovò le linee brillanti dell'idrogeno, come in *T Coronae*. Ma, oltre a queste linee, altre linee brillanti si poterono vedere. Una di esse era giallo ranciata, o *D*, o la linea delle prominenze presso *D*. Il signor Cornu non riuscì a determinare quale di queste linee fosse realmente presente dello spettro della stella. Un'altra linea brillante, di color verde, fu da lui trovata coincidente in posizione colla linea tripla che appartiene al metallo magnesio. Da ultimo, fu vista la brillante linea verde giallognola che è presente nello spettro della corona solare e della cromosfera.

Tutto ciò si accorda con quanto fu osservato nel caso della stella nella Corona Boreale. Perchè se una stella cresce tanto in calore e luce che l'idrogeno ad essa circostante arda più brillantemente del corpo della stella, è da aspettarsi che altre materie intorno a questo sole partecipino a questo incremento di calore. Noi vediamo che intorno al nostro sole, oltre l'idrogeno, sono presenti in enormi quantità un certo vapore incognito di un color giallo-ranciato, il magnesio, ed un altro vapore di color giallo tendente al verde. Sembra adunque ragionevole il credere che altri soli abbiano questi gaz, spingentisi assai al di là delle rimanenti loro parti costitutive. E certo che, se il nostro sole fosse fatto ardere con un grado di calore assai superiore all'attuale, i gaz il cui aumento di luminosità fosse meglio discernibile da una lontana stazione (come sarebbe un mondo circolante intorno ad una stella remota) sarebbero precisamente quei gaz che ardevano con tanto splendore intorno alla stella del Cigno, nel novembre 1876, o, meglio, nell'istante in cui la luce che in quel mese ci pervenne aveva lasciato quel lontano sole nel Cigno.

Un altro fenomeno, alla cui spiegazione fu adoperata l'analisi spettroscopica, è il colore spiccato di certe stelle, e specialmente di certe stelle doppie. I quattro ordini di stelle corrispondono, come noi abbiamo veduto, ai colori delle stelle, e, fino ad un certo punto, spiegano siffatti colori. Talune porzioni dello spettro essendo più o

meno ~~T~~ridotte di splendore da zone o linee di assorbimento, la luce della stella è deficiente di colori corrispondenti, e mostra quindi una tinta risultante dall'eccesso relativo dei colori rimanenti. Ma nel caso di talune stelle doppie, i colori sono molto più spiccati di quelli di ognuna delle stelle singole visibili ad occhio nudo, ed era una questione interessante di vedere se queste tinte fortemente definite potessero spiegarsi per mezzo dello spettroscopio. I risultati dell'esame spettroscopico delle componenti fortemente colorate — una ranciata, l'altra azzurra — della bella stella doppia Albireo ¹, non lasciarono alcun dubbio su questo punto, per quanto almeno concerne questa stella. Lo spettro della stella ranciata mostra parecchie forti linee nelle parti verde, azzurra e violetta, e non ne ha alcuna nel ranciato, talchè la luce ranciata è in eccesso, e la stella brilla con tinta ranciata. Nello spettro della minor compagna azzurra, parecchie larghe zone sono nella parte ranciata e gialla, e pochissime linee altrove; quindi si ha un eccesso di luce violetta ed azzurra, e la stella mostra un colore azzurro bene spiccato.

AMMASSI DI STELLE E NEBULE.

Oltre le stelle fisse, — singole, doppie e multiple — le profondità celesti ci presentano gruppi

¹ β del Cigno.

(Nota del Traduttore.)

od ammassi di stelle,¹ che all'occhio nudo sembrano tenui nubi di luce, e nebulæ, o nubi di luce che, o sono risolte in istelle solo dall'uso dei più potenti telescopi, o si trovarono sinora affatto irresolubili.

Gli ammassi di stelle danno in generale il medesimo spettro di una semplice stella debole, cioè, uno spettro continuo, con deboli indizi, dell'esistenza di linee o zone nere. Ma, quando noi ci rivolgiamo alle nebulæ, vuoi non risolte in istelle, vuoi risolubili solo con difficoltà, noi non troviamo più che questa legge prevalga. Taluni, fra questi oggetti danno uno spettro continuo, e si possono quindi considerare come realmente composti di una moltitudine di piccole stelle; ma altre danno uno spettro affatto differente da quello di qualunque altre corpo celeste sin qui considerato. Quando Huggins, nell'agosto 1864, diresse il suo telescopio, armato di uno spettroscopio, verso una di queste nebulæ, egli trovò, con sua grande meraviglia, che, invece di uno spettro continuo, egli otteneva uno spettro di tre linee brillanti, di colore azzurro verdognolo, come si vede nel frontispizio, spettro 11. Sulle prime egli pensò che lo spettroscopio fosse fuori di posto, ma, trovando che questo non era il caso, egli riconobbe il fatto che la nube da lui esaminata nello spazio stellare consiste di gaz incandescente. Estendendo le sue ricerche, egli trovò che altre nebulæ (compresa quella famosa

¹ Herschel chiama questi gruppi col nome di *clusters* (grappoli), adottato generalmente dagli Inglesi. (Nota del Traduttore.)

di Orione e quella chiamata *Dumb-bell*¹⁾ danno il medesimo spettro di tre linee brillanti; in uno o due altri casi si vide una quarta linea. Per determinare la natura dei costituenti gazzosi di queste nebulose, egli seguì lo stesso metodo che aveva applicato alle stelle. Il risultato è esposto nella fig. 61, dove lo spettro superiore mostra la parte

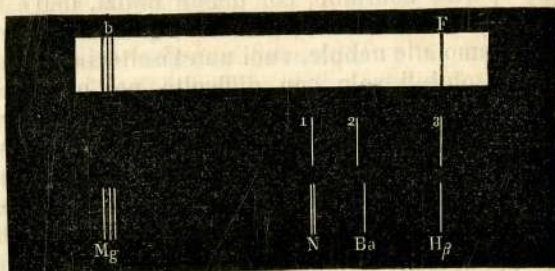


Fig. 61.

Confronto dello spettro di una nebula gazzosa colle linee di taluni elementi terrestri.

dello spettro solare compresa fra la tripla linea *b* ed *F*; al disotto figurano le tre linee delle nebulose gazzose, e, più sotto ancora, una doppia linea dell'azoto, una linea del bario, e la linea *F* dell'idrogeno. Si vede che la linea dell'idrogeno si accorda senza ombra di dubbio colla terza linea della nebula. La doppia linea dell'azoto si può considerare come coincidente colla prima linea della nebula, ma la linea media (2) della

¹ Letteralmente, questa denominazione inglese si tradurrebbe *campana muta*. È una nebula ovale, appartenente alla costellazione della Volpetta. (Nota del Traduttore.)

nebula non si accorda con alcuna linea brillante che appartenga ai trenta elementi provati da Huggins, la linea del bario essendo nella fig. 61 vicino alla (2), ma non effettivamente coincidente con essa. Avendo Huggins dimostrato che, quando la intensità luminosa dell'idrogeno e dell'azoto andava gradatamente decrescendo, l'ultima a scomparire era in ciascun gaz la linea coincidente con una linea dello spettro della nebula, noi possiamo agovolmente concludere che l'idrogeno e l'azoto sono realmente presenti nelle nebulose gazoze. Alcune ricerche di Frankland e di Lockyer sugli spettri dell'idrogeno e dell'azoto sembrano indicare che la temperatura delle nebulose gazoze è più bassa di quella del sole, e che la loro densità è piccola assai.

La seguente tavola indica le proporzioni fra nebulose stellari e gazoze esistenti nei 60 oggetti esaminati dal sig. Huggins:

	Spettro continuo	Spettro lineare
Ammassi	10	0
Nebule risolte, od apparentemente risolte.	10	0
Risolubili od apparentemente riso- lubili	5	6
Verdi od azzurre, non risolubili .	0	4
Nessuna risolubilità apparente. .	6	5
	31	15
Non osservate nel telese. di Rosse.	10	4
	41	19

COMETE E METEORITI.

Si è sperato che l'analisi spettroscopica della luce delle comete potesse fornire qualche spiegazione della natura reale di questi strani fenomeni. Questa speranza non fu che parzialmente appagata.

La notevole cometa del 1858, chiamata di Donati, fu esaminata dal medesimo Donati, e presentò una luce a spettro composto di zone; ma, non essendo pur anco stabiliti a quel tempo i principi dell'analisi spettroscopica, Donati non si curò di determinare la posizione esatta di tali zone. La grande cometa del 1861, e la minore, ma pur importante, cometa del 1862, passarono senza speciale esame spettroscopico. Infine, nel 1866, la cometa di Tempel, un piccolo oggetto telescopico, fu esaminato da Huggins e da Secchi, i quali trovarono che essa dava un debole spettro continuo, nel quale Huggins notò una zona brillante, mentre Secchi ne vide tre. Se ne dedusse che la cometa brillava in parte per luce propria (producendo la zona o le zone, spettrali), ed in parte, come si doveva aspettare, per riflessione verso di noi della luce solare, che produceva il debole spettro continuo.

Nel 1866 e 1867, Huggins esaminò gli spettri di due deboli comete con risultati somiglianti. Nel 1868, invece, ritornarono due comete alquanto più brillanti, quella di Brorsen e quella di Winnecke.

Per l'importanza dei risultati dell'analisi di queste comete, sarà bene descriverne brevemente l'aspetto. Quella di Brorsen (I, 1868) apparve nel telescopio come una nebula rotonda, nella quale lo splendore cresceva rapidamente verso il centro; vi era una leggera espansione della cometa

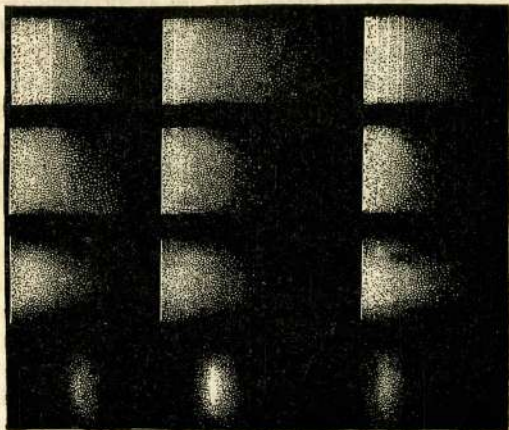


Fig. 62.

Spettri delle comete di Brorsen e di Winnecke, paragonati
cogli spettri del carbonio.

in un senso, ma non una coda propriamente detta. La cometa di Winnecke (II, 1868) fu invece visibile ad occhio nudo. La sua testa aveva una certa somiglianza colla cometa di Brorsen, e la coda era lunga circa due volte il diametro apparente della luna. Lo spettro della cometa di Brorsen è rappresentato al numero 4, nella fig. 62

La zona più brillante era quella di mezzo nel verde, verso la metà del cammino fra b ed F ; la seconda era sulla sinistra, fra b e D ; la terza era nell'indaco. Un debolissimo spettro continuo era il fondo sul quale queste fascie erano proiettate. Lo spettro della cometa di Winnecke si vede al numero 3, nella fig. 62. Esso consisteva di tre zone, la più brillante nel verde, la media nel giallo e la più debole nell'azzurro. Tutte queste erano meglio definite dalla parte meno rifrangibile, ed andavano gradatamente estinguendosi verso il violetto.

Huggins paragonò gli spettri di varie sostanze con quello della cometa di Winnecke. Fra le al-

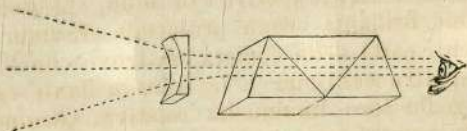


Fig. 63.

Spettroscopio di Browning per i meteoriti.

tre egli provò la scintilla elettrica nell'olio di ulive, ottenendo il primo spettro della fig. 63, e nel gaz olefacente, ottenendo lo spettro 2. Lo stretto accordo fra le zone brillanti di questi spettri e quelle dello spettro della cometa è ovvio. Secchi a Roma, e Wolf a Parigi, esaminarono lo spettro della cometa di Huggins coi medesimi risultati generali; Huggins reputa che lo spettro della cometa possa essere precisamente considerato come quello del carbonio; ma rimane tuttora inesplicato come una sostanza così sta-

bile come il carbonio possa trovarsi in forma di vapore luminoso nella materia del nucleo di una cometa. Altre comete furono esaminate, con risultati generalmente simili. La grande cometa dell'anno 1874, l'unica grande cometa a lunga coda che sia stata analizzata a fondo collo spettroscopio, presentò i seguenti interessanti fenomeni: « Quando la fessura dello spettroscopio era posta fra il nucleo e la chioma, si vedeva un largo spettro, composto delle medesime tre zone esibite dalla cometa II del 1868, attraversate da uno stretto spettro continuo appartenente al nucleo. In questo spettro continuo, Huggins non potè distinguere linee nere. Vi era pure un debole e largo spettro continuo, sul quale le tre zone brillanti erano proiettate. Esaminando differenti parti della cometa, si trovò che il debole spettro continuo e le zone brillanti variavano nella loro luminosità relativa. Quando la fessura era trasportata dal nucleo all'estremità della coda, le zone s'indebolivano rapidamente, finchè, a breve distanza dal nucleo, non si poteva discernere che la zona di mezzo ». Da questi fenomeni noi possiamo dedurre che il nucleo di una cometa è solido, liquido, oppure gazofo a fortissima pressione e temperatura, presentando uno spettro continuo; che la chioma consiste di gaz incandescenti, di piccola densità, a meno alta temperatura; e che, finalmente, la coda consiste soprattutto di materia opaca, che splende per riflessione della luce solare.¹

¹ Il dottor Hasselberg a Pulkova trovò la linea *D* del sodio nello

Si è mostrato nell'ultimo ventennio che i meteoriti, o stelle cadenti, sono corpi che girano a sciami e correnti intorno al sole, e che taluni di questi sistemi meteorici, scelti comunque, si muovono nella stessa orbita di certe comete conosciute, colle quali dunque essi sono in certo modo associati.¹ L'analisi chimica di quelle masse meteoriche più grosse che hanno raggiunto la terra, mostra che esse contengono ferro, nichelio, cobalto, rame, stagno, cromo e vari composti silicei. L'analisi dei meteoriti ha pure indicato la presenza dell'ossigeno, dell'idrogeno, del solfo, del fosforo, del carbonio, dell'alluminio, del magnesio, del calcio, del sodio, del potassio, del manganese, del titanio, del piombo, del litio e dello stronzio. Quei meteoriti che si dissipano in vapori nelle più alte regioni dell'aria per l'intenso calore generato dalla resistenza atmosferica al loro rapido movimento, non furono sin qui analizzati collo spettroscopio. La loro luce è manifestamente dovuta in parte all'intenso calore della loro materia solida, e non affatto, e neppure in via principale, al vapore incandescente

spettro della Cometa Wells 1881. Tale scoperta fu confermata da Vogel, Bredichin ed altri nello spettro della medesima cometa, da Riccò a Palermo e da molti altri in quello della grande cometa del settembre 1882 (Cruls). Secondo l'opinione di Hasselberg, ciò indicherebbe che questo metallo si è reso incandescente per l'avvicinamento grande della cometa al sole.

(Nota del Traduttore.)

¹ È questa la scoperta ben conosciuta del prof. G. V. Schiaparelli, direttore dell'Osservatorio di Milano.

(Nota del Traduttore.)

nel quale essi vanno convertendosi gradatamente finchè sono visibili (cioè, finchè interviene il processo di dissipazione).

Nel tentare di ottenere gli spettri delle stelle cadenti ci si presentano difficoltà particolari. Queste sono, soprattutto, l'improvvisa loro apparizione, il loro rapido volo e la breve durata della loro luminosità. Per rimediare a queste difficoltà, Browning ideò lo strumento chiamato lo spettroscopio meteorico, rappresentato nella figura 63. M_1 , M_2 ed M_3 dinotano tre posizioni successive di un meteorite; le linee punteggiate sono le traiettorie dei raggi da M_1 , M_2 ed M_3 alla lente cilindrica concavo piana. Noi vediamo che tutti questi raggi raggiungono l'occhio dell'osservatore, mentre l'istrumento è tenuto nella stessa posizione. (Collocando una lente biconcava di fronte all'apertura della lente cilindrica, il campo di vista può essere ancor più aumentato.) I raggi così ricevuti sono analizzati dal prisma composto a visione diretta; e, per il grande campo visuale, l'osservatore non avrà molto da attendere, in ogni notte in cui sia in corso una pioggia di stelle, prima che un meteorite sia portato acconciamente sotto l'azione del suo spettroscopio meteorico. Con questo istrumento, il signor Browning, osservando nel 1866 le piogge meteoriche del 10 agosto e del 14 novembre, trovò che gli spettri delle teste dei meteoriti sono comunemente continui; ma in certi casi il giallo era tanto più splendente del resto, da formare una zona luminosa, ed in altri casi il giallo era quasi l'unico colore visibile, benchè il resto dello

spettro potesse appena discernersi. In due casi il verde fu il solo colore cospicuamente visibile. I meteoriti di agosto e di novembre erano conformi, o quasi, agli spettri delle loro teste. Le code o tracce di luce che seguono i meteoriti di agosto diedero solamente una linea gialla di intenso splendore, che accennava senza dubbio alla presenza del sodio incandescente. La medesima cosa era stata osservata nel 1865 dal prof. Alessandro Herschel, il quale disse che sotto questo rispetto la luce dei meteoriti di agosto somigliava a quella di una fiamma ad alcool con una dose abbondante di sale. Le traccie dei meteoriti di novembre, d'altra parte, diedero uno spettro continuo sull'azzurro, verde ed indaco, debolissimo nel giallo, ed a stento discernibile nel ranciato e nel rosso. La linea gialla A delle traccie di agosto non si vide affatto nella luce delle traccie meteoriche di novembre. Secchi, osservando i meteoriti di novembre nel 1868, ne avvertì uno, la cui traccia rimase visibile per un quarto d'ora. Lo spettro di questa traccia consisteva di parecchie zone luminose nel rosso, nel giallo, nel verde e nell'azzurro. Egli riuscì anche per fortunata combinazione ad analizzare due meteoriti direttamente, e trovò la linea (o serie di linee) del magnesio ben distinte. Parecchie linee erano pur visibili nel rosso.

Queste investigazioni mostrano che i meteoriti consistono di particelle solide incandescenti, ma che queste particelle sono parzialmente dissipate in vapori durante il passaggio del meteorite attraverso alla nostra atmosfera. Noi riconosciamo

pure che una differenza esiste fra i meteoriti di agosto e quelli di novembre; e noi possiamo ben credere che, quando negli anni futuri tutti i sistemi più importanti di meteoriti saranno stati analizzati, al pari delle comete, colle quali tutti o la maggior parte di essi saranno stati associati, sarà gettata molta luce sulle questioni misteriose che presentemente si connettono coll'astronomia meteorica e cometaria.

LA LUNA ED I PIANETI.

Essendochè la luna ed i pianeti splendono di luce riflessa dal sole, i loro spettri non sono altro che lo spettro solare, soggetti unicamente a quelle modificazioni che possono essere dovute all'assorbimento degli involucri atmosferici di questi corpi. Così, per quanto noi non possiamo aspettarci di apprendere qualche cosa circa la sostanza della luna o dei pianeti dalla analisi spettroscopica della loro luce, noi possiamo forse riuscire a determinare la natura dei vapori che ne costituiscono le atmosfere.

Tutti gli osservatori dello spettro lunare sono d'accordo nell'asserire che esso è identico esattamente allo spettro solare. Noi ne possiamo quindi inferire che, qualunque atmosfera la luna possa avere, essa è troppo rara per esercitare un'azione assorbente riconoscibile sulla luce che la luna riceve attraverso ad essa, ed attraverso ad essa per la seconda volta riflette verso l'osservatore che sta sulla terra.

Gli spettri dei pianeti Venere e Marte offrono le stesse linee nere dello spettro solare, ma inoltre offrono zone di assorbimento che si accordano per la loro posizione colle zone nere che compaiono nello spettro solare quando il sole è vicino all'orizzonte. Queste ultime zone, come si vedrà nel prossimo capitolo, sono dovute alla presenza del vapor acqueo nella nostra atmosfera. Noi possiamo quindi concludere, che le atmosfere di Venere e di Marte contengono vapore acqueo, epperò che esistono mari ed oceani alla superficie di questi pianeti. Egli è vero che, esaminando noi la luce da questi corpi dopo che essa ha attraversato la nostra atmosfera, si può dubitare se il vapor acqueo che produce le zone nei loro spettri sia nell'atmosfera di questi pianeti, o sia semplicemente quello che è sempre più o meno sparso nella nostra aria. Ma questo dubbio fu eliminato, nel caso di Marte, da osservazioni che il signor Huggins fece nella medesima notte sopra Marte, quand'era alto sull'orizzonte, e sulla luna quand'era bassa; poichè le zone erano visibili nello spettro di Marte e non nello spettro della Luna, quantunque la luna fosse veduta attraverso ad una maggior quantità, ¹ della nostra aria. Ne consegue che le zone erano dovute alla presenza di vapor acqueo all'infuori della nostra aria, e quindi necessariamente nel-

¹ Oltre alla maggiore quantità d'aria, ossia alla maggior lunghezza del tratto percorso dal raggio luminoso nella nostra atmosfera, vuolsi tener conto del fatto che il raggio orizzontale attraversa strati d'aria molto più densi.

(Nota del Traduttore.)

l'atmosfera di Marte. Nel caso di Venere, le osservazioni fatte durante il recente passaggio di Venere tolsero direttamente di mezzo ogni dubbio. In questa occasione la luce del sole, nell'istante precedente l'immersione totale ed in quello successivo al principio dell'emersione, fu deviata intorno al corpo del pianeta dal poter rifrangente dell'atmosfera del pianeta stesso. Il sottile arco di luce solare così messo in vista fu analizzato da Tacchini, e diede uno spettro colle zone dovute al vapor acqueo. Se noi ricordiamo che questa era luce solare ricevuta attraverso all'aria del pianeta per rifrazione orizzontale (appunto come noi riceviamo la luce solare quando il sole è realmente sotto l'orizzonte, ma sembra alzato dalla rifrazione atmosferica; soltanto che nel caso del pianeta la luce solare aveva attraversato due volte gli strati atmosferici), è chiaro che le zone vedute nello spettro della luce solare così ricevuta debbono essere quasi unicamente dovute all'atmosfera di Venere, e ben poco alla nostra, perchè il sole era in quell'istante alto sul nostro orizzonte. Dunque Venere, al pari di Marte, ha vapore acqueo nella sua aria, e mari ed oceani sulla sua superficie.

Secondo Huggins lo spettro di Giove, oltre le linee solari, ne presenta parecchie nel rosso, corrispondenti alle linee che si vedono nello spettro solare quando il sole è molto basso, ed una che non è nè solare nè tellurica. Lo spettro di Saturno mostra talune linee telluriche, e, perchè queste si vedono con minore chiarezza nello spettro dell'anello che in quello del globo, se ne de-

duce che la luce dell'anello soffre minore assorbimento della luce che viene da Saturno stesso. Janssen e Secchi si accordano nel ritenere che il vapor acqueo si trovi nelle atmosfere di Giove e di Saturno; e Secchi dice che talune linee esistenti nello spettro di Saturno non coincidono con alcuna linea solare o tellurica conosciuta. Pare adunque probabile che Giove e Saturno abbiano entrambi nella propria atmosfera gaz che non si trovano nella nostra.

Esiste una differenza abbastanza notevole fra le descrizioni date da Huggins e da Secchi sullo spettro di Urano. Mentre Secchi afferma l'esistenza di parecchie zone oscure fortemente definite, e specialmente di una zona molto larga nel giallo-ranciato, Huggins nega l'esistenza di ogni larga zona oscura. Egli asserisce che vi sono sei linee forti, una delle quali si accorda in posizione colla linea *F* dell'idrogeno. Tre altre di queste linee si accordano colla posizione delle linee brillanti della nostra atmosfera; ma non vi sono zone simili a quelle che si vedono nello spettro solare quando il sole è basso. È possibile che la discrepanza fra Secchi ed Huggins sia dovuta a reali variazioni nelle condizioni dell'atmosfera di Urano.

Secchi descrive lo spettro di Nettuno come simile a quello di Urano; ma il valore di tale osservazione devesi considerare come dubbio, finchè non si sia data soddisfacente spiegazione della differenza fra Secchi ed Huggins rispetto allo spettro di Urano.

CAPITOLO VII.

LINEE ATMOSFERICHE NELLO SPETTRO SOLARE.

Noi abbiamo veduto che alcune fra le linee nere nello spettro solare diventano più forti e che altre fanno la loro comparsa, quando il sole è molto basso, e quindi è veduto attraverso un tratto più lungo della nostra atmosfera. Nel 1860, Brewster e Gladstone riesaminarono l'argomento di queste linee, presumibilmente atmosferiche. Essi fecero un disegno dello spettro solare, contenente più di 2000 linee nere, e fra queste ne riconobbero un gran numero che sembra appartenere alla nostra atmosfera. Subito dopo, il prof. Cooke, di Cambridge in America, riconobbe la dipendenza di molte di queste linee dall'umidità relativa dell'aria. Egli trovò che quando l'igrometro indica umido, le linee sono più forti che quando l'aria è secca. Nel 1864, Janssen, adoperando uno spettroscopio con cinque prismi, riuscì a risolvere le zone oscure viste da Brewster e da Gladstone in linee finissime, e riconobbe che

queste linee variano di forza. Esse sono più oscure al sorgere e al tramontare del sole, e più deboli (ma non mai assenti interamente) al mezzogiorno. Osservando poi dalla sommità del Faulhorn, a circa 2700 metri sul livello del mare, egli trovò che queste linee erano ancor meno sentite. Per verificare se tali linee siano dovute unicamente alla nostra atmosfera, egli fece accendere grandi falò di pino a Ginevra, a circa 13 miglia dal Faulhorn,¹ ed osservò lo spettro della fiamma. Avendo egli trovato che vi si vedevano talune delle linee nere che si osservano nello spettro del sole quando tramonta, rimase provato che queste linee sono prodotte dalla nostra aria. Per riconoscere poi quale parte avesse il vapor acqueo nella produzione di queste linee, egli fece uso di un cilindro di ferro largo una quarantina di metri, posto a sua disposizione dalla Società del Gaz di Parigi. Vuotatolo d'aria col costiparvi entro vapore, egli lo riempì di vapore, e chiuse ambo le estremità con pezzi piani di vetro robusto. Una fiamma brillante (prodotta da sedici becchi a gaz) fu collocata ad una estremità del cilindro, ed esaminata mediante uno spettroscopio collocato al-

¹ Qui il chiarissimo Autore incorre in un cumulo di inesattezze, che importa rettificare. Il sig. Janssen, nella sua comunicazione 30 gennaio 1865 all'Accademia delle Scienze di Parigi, dice di avere osservato lo spettro solare dal Faulhorn, e quello del falò di pino da un punto del lago di Ginevra, fra questa città e Nyon, a circa 13 miglia dal luogo dove la fiamma ardeva. Il Faulhorn non si trova a 13 miglia, bensì a 150 chilometri almeno da Ginevra, ed è anzi presumibile che le alte cime dell'Oberland, cui appartiene, non lascino libera la visuale fino al Lemano. (Nota del Traduttore.)

l'estremità opposta. La luce, dopo aver così percorso circa 40 metri di vapor acqueo, diede uno spettro solcato da gruppi di linee oscure, corrispondenti a quelle che si vedono nello spettro del sole quando è all'orizzonte. A questo modo Janssen provò che quasi tutte le linee allora viste (chiamate le *linee telluriche*, perchè non appartengono al sole, ma alla nostra terra) sono dovute al vapor acqueo. Per raddoppiare la certezza, egli estese le sue osservazioni alle stelle fisse, per vedere le linee consimili appaiono nei loro spettri. Il risultato delle sue osservazioni su questi spettri si accordò bene con quelli già da lui ottenuti.

Ångström, di Upsala, fece pure accurate osservazioni delle linee oscure atmosferiche nello spettro. Egli conviene con Brewster, che tutti i cambiamenti di colore osservati al tramonto del sole sono spiegati dalle indicazioni spettroscopiche dell'assorbimento atmosferico.

LAMPI.

Essendo il lampo una scarica elettrica che ha luogo in iscala molto grande nell'aria, è da aspettarsi che lo spettro del lampo presenti le linee brillanti che si vedono nello spettro della ordinaria scarica elettrica attraverso l'aria. Il capitano Herschell, osservando durante un temporale, nel quale le scariche erano molto numerose, trovò (adoperando uno spettroscopio-miniatura di Brow-

ning) che fra molte linee brillanti quella azzurra dell'azoto era la più cospicua. Era pure visibile la linea rossa *C* dell'idrogeno, ed un brillante spettro continuo.

Tuttavia lo spettro del lampo è variabile. Talora e lo spettro continuo e lo spettro a linee sono molto brillanti; talora le linee si possono appena scorgere; talora invece sono visibili soltanto le linee.

Kundt, di Zurigo, dà i seguenti risultati dell'analisi spettroscopica di più che cinquanta lampi: • In aggiunta allo spettro delle linee brillanti, vi comparvero sempre numerosissime zone più deboli, talora più larghe delle linee, e disposte ad intervalli regolari l'una dall'altra. Gli spettri di linee consistevano di una, e talora due linee nell'estremo rosso, poche linee assai brillanti nel verde, talune meno brillanti nell'azzurro, oltre ad un numero assai maggiore di più deboli, delle quali, tuttavia, la massima parte era benissimo definita. Gli spettri di diversi lampi erano talmente diversi, che, mentre talune linee erano molto brillanti in un lampo, esse mancavano interamente in un altro, dove esse erano sostituite da una serie di linee che erano invisibili in molti altri lampi. Gli spettri di zone erano pure dissimili, comparendo le zone colorate per certi lampi nell'azzurro e nel violetto, per altri d'ordinario nel verde, e solo in qualche caso nel rosso. Nella maggior parte dei casi ogni lampo aveva uno soltanto di questi spettri. Gli spettri di linee erano dati usualmente dai lampi a zig-zag, mentre quelli diffusi producevano gli spettri di zone.

In due casi soltanto la medesima scarica diede dapprima uno spettro brillante di linee definite assai bene, e quindi improvvisamente mostrò uno spettro di zone distribuite regolarmente. »

Da questi risultati pare che lo spettro del lampo dipenda dal grado di calore sviluppato nella scarica. Se il calore è grande, come nel caso della scarica a zig-zag, noi abbiamo lo spettro di linee, dovute ai gaz dell'aria, portati allo stato incandescente dal calore; dove il calore è minore, come nel caso della scarica lenta¹ fra nube e nube, e della scarica a luce diffusa, compare soltanto lo spettro di zone.

AURORA BOREALE.

L'analisi spettrale della luce data dall'Aurora Boreale non ha sin qui date informazioni soddisfacenti sulla natura e sulla causa di questo meraviglioso e bel fenomeno.

Secondo Ångström, l'arco dell'aurora dà spettro di una linea brillante, nel giallo-verde, fra *D* ed *E*, e poco a sinistra della zona verde del calcio (vedi il quinto spettro del frontispizio, dove questa figura come la zona più rifrangibile del calcio, eccettuata una nel violetto). Ångström

¹ Letteralmente sarebbe: scarica a spazzola, intendendosi dall'Autore un fenomeno analogo a quello che avviene nelle ordinarie macchine elettriche, dotate appunto di spazzole o pettini.

(Nota del Traduttore.)

osservò pure tracce di tre zone sottili che giungono vicino alla linea *F*, ma queste furono vedute solo una volta. Ångström nota che la luce zodiacale diede la medesima linea per una settimana di seguito, nel marzo 1867; ed ancora che in una notte chiarissima, nella quale tutto il cielo sembrava fosforescente, la linea stessa fu debolmente osservata nello spettro di ogni parte del cielo. Questa linea non coincide con alcuna linea tellurica o solare conosciuta. Lo splendido spettacolo di aurora del 15 aprile 1869 fu osservato dal prof. Winlock, dell'Osservatorio di Harvard, nel Massachussets. Egli trovò che lo spettro consisteva di cinque linee brillanti, tre delle quali sembravano corrispondere assai da vicino alle linee brillanti che si videro nello spettro della corona durante l'eclisse del 7 agosto 1869.¹ La medesima ancora fu osservata da Rayet e Sorel. Lo spettro mostrò chiarissimamente le linee vedute da Ångström nel 1867, ed anche le linee atmosferiche.

L'aurora del 5 aprile 1870² fu esaminata da Schmidt a Lennep, nelle Provincie Renane. Lo spettro consisteva di una notevole linea larga e brillante a destra di *D* verso *E* (quella di Ang-

¹ Winder, in America, constata che l'aurora, da lui esaminata, gli mostrò sempre una linea brillante assai vicina a *D*, ma meno rifrangibile; egli vide pure una linea più debole nel verde, ed una volta una linea nel rosso.

(Nota dell'Autore.)

² Il testo reca 1850; ma è indubbiamente un errore di stampa.

(Nota del Traduttore.)

ström, senza dubbio). La medesima aurora ¹ fu osservata a Melbourne dal signor Ellery, il quale trovò che la linea più brillante era nel rosso presso *C*, alquanto verso *D*: una o due zone verdognole apparvero presso le linee verdi del calcio, ed una debole zona più rinfrangibile sembrò risolubile in linee. — « Il segmento oscuro dell'aurora posava sull'orizzonte al mare. Sopra di esso stava un arco di luce aurorale verdognola, e da un estremo ben definito di questa si spiccavano verso lo zenith i raggi di color roseo. La linea rossa spariva non appena lo spettroscopio era diretto ad un punto che fosse al di sotto di codesto estremo, e rimanevano soltanto le linee verdi. La perdita e la ricomparsa della linea rossa erano immediate quanto è possibile, al passare della fessura dalla regione rossa alla verde. »

L'aurora del 25 ottobre 1870 presentò il raro fenomeno di una corona aurorale. Il prof. Förster, di Berlino, trovò che lo spettro di questa aurora non presentava che la zona verde-gialla, e questa zona si vedeva anche quando lo spettroscopio era rivolto a parti del cielo che ad occhio nudo sembravano oscure. (Il dott. Titjen aveva notato la medesima linea in varie parti del cielo qualche settimana prima, quando non era visibile l'au-

¹ La medesima aurora nel senso di fenomeno simultaneo, è dovuto indubbiamente alla stessa causa perturbante cosmica, essendo probabilmente nel sole il centro di perturbazione. Non occorre neppure di dire che un osservatore a Melbourne non poteva avere sul proprio orizzonte la medesima luce aurorale che si vedeva da un osservatore in Europa,

(Nota dell'Autore.)

rora.) Capron, a Guildford, vide una linea brillantissima nel verde, mentre lo spettroscopio era rivolto ai raggi bianco-argentei dell'aurora, e potè riconoscere le stesse linee debolmente, ma distintamente anche nello spettro delle parti più oscure del cielo. Vi era pure una linea molto più debole nel rosso, coincidenza in apparenza colla linea rossa del litio (spettro 4, frontispizio). Un osservatore a Torquay vide quattro linee nel rosso, oltre alla forte linea nel verde. Zöllner, a Lipsia, con uno spettroscopio miniatura di Browning, ottenne uno spettro con parecchie zone nel violetto. Si deve notare che la larghezza delle zone è dovuta al fatto che, per ottenere luce sufficiente, la fessura fu alquanto allargata. Egli reputa che le larghe zone deboli, incontrate nella parte più rifrangibile, debbano essere considerate non come zone brillanti spettrali, ma come parti dello spettro continuo, interrotte da spazi oscuri. Da osservazioni fatte dopo la scomparsa dell'aurora, egli si convinse che la linea rossa non coincideva in posizione colle zone o linee brillanti degli spettri dell'idrogeno, dell'azoto, dell'ossigeno e dell'acido carbonico. Egli deduce dalle sue osservazioni che, se la luce dell'aurora è realmente di natura elettrica, essa deve appartenere a materia di temperatura inferiore a quella cui si possono osservare gli spettri dei gaz resi luminosi nei tubi di Geissler. Nè questa, nè altre teorie dell'aurora boreale si possono tuttavia considerare come stabilite dalle osservazioni fatte sino al tempo presente.

CAPITOLO VIII.

MISURA DEI MOTI DI ALLONTANAMENTO E DI AVVICINAMENTO

Ci rimane da considerare una delle più interessanti applicazioni della analisi spettroscopica, cioè il suo uso nel misurare rapidi movimenti di allontanamento dall'osservatore, o di avvicinamento ad esso. Io ho parlato sin qui della luce in queste pagine, come se essa fosse una sostanza materiale che si propaga radialmente dalla sua sorgente. Ma in realtà la luce si propaga per una serie di onde, che procedono in tutte le direzioni radialmente dalla sorgente luminosa, e così si trasmette il movimento ondulatorio, non una sostanza materiale. Si è dimostrato che le differenti rifrangibilità della luce di diversi colori dipendono dalle differenze di lunghezza ¹ delle onde luminose, o, ciò che è lo

¹ Si deve spiegare che questo termine va qui inteso corrispondere alla distanza da cresta a cresta nelle onde di un liquido agitato, e

stesso, dal differente rapporto di vibrazione. Così, le onde che producono la luce rossa vibrano meno rapidamente di quelle che producono la ranciata, queste meno di quelle che producono la gialla, e così via, fino alle onde producenti la luce violetta, le quali vibrano più rapidamente di tutte.

Poichè adunque i colori della luce dipendono dal numero di vibrazioni che giungono all'occhio in un dato tempo, ne consegue che, se l'occhio si appressa alla sorgente luminosa, tanto da ricevere un numero di vibrazioni dalla luce di un dato colore maggiore di quello che avrebbe ricevuto restando fermo, il colore di questa luce sarà cambiato in un colore corrispondente ad una parte dello spettro più vicino al violetto; e parimenti, se l'occhio si allontana dalla sorgente di luce in guisa da ricevere meno vibrazioni di quelle che avrebbe ricevuto altrimenti della luce di un dato colore, il colore di questa luce si cambierà in un colore corrispondente ad una parte dello spettro più vicina al rosso. Non importa che l'occhio sia in movimento, piuttosto che la sorgente di luce, od ambedue; se si av-

quindi a ciò che si intende comunemente per larghezza dell'onda di rullo. Veramente, nel linguaggio ordinario, i termini di lunghezza e larghezza non sono definitivamente usati. La gente parla di un lungo rullo, oppure di un' « onda larga venuta in rullo », intendendo la medesima cosa. In iscienza, lunghezza di onda significa la distanza fra successivi punti, linee o superficie, alla medesima fase, secondochè l'onda avviene lungo una linea, sopra una superficie, od attraverso uno spazio a tre dimensioni.

(Nota dell'Autore.)

vicinano, il cambiamento avviene verso l'estremo violetto dello spettro, verso l'estremo rosso invece se si allontanano.

Si devono veramente osservare due cose. La prima è, che non si può percepire alcun cambiamento di colore nella luce bianca, od in quella prodotta dalla combinazione di molte tinte differenti. Prendasi, ad esempio, la luce di una stella, e suppongasi che la stella si avvicini con tale velocità che i raggi di una data rifrangibilità siano deviati sensibilmente verso il violetto. Allora tutto lo spettro visibile è deviato in questo modo, ed una porzione all'estremo violetto, essendo deviata al di là del limite visibile dello spettro, va perduta. Ora, se l'estremo rosso dello spettro segnasse il limite effettivo dei raggi, essendo stato esso deviato verso il ranciato, una certa parte di luce rossa dovrebbe mancare a completare lo spettro, il quale sarebbe completo dalla parte violetta, essendo stato deviato verso di questa. Così, la luce della stella mancherebbe di raggi rossi, e la stella presenterebbe quindi una tinta azzurrognola. Ma noi abbiamo veduto che l'estremo rosso dello spettro visibile non segna il limite effettivo da questa parte; vi sono raggi che non producono alcun effetto sull'occhio, perchè in realtà le onde luminose sono troppo grandi. Queste lunghezze d'onda essendo diminuite al pari delle altre, ne segue che una parte dei raggi termici invisibili si rende visibile in qualità di raggi luminosi, e completa lo spettro dalla parte rossa. Dunque lo spettro è interamente visibile come prima, ed il colore

della stella rimane inalterato. La seconda cosa da osservare è che, perchè si produca un cambiamento sensibile, anche nella luce di una sola lunghezza d'onda, la velocità di accostamento o di discostamento deve essere ben grande. La luce si propaga con una velocità di circa 300,000 chilometri al minuto secondo; perchè il nostro avvicinamento alla sorgente di luce od il nostro allontanamento da essa possano effettivamente accrescere o diminuire il numero di vibrazioni che raggiungono l'occhio in un dato tempo, la velocità di accostamento o di discostamento deve mantenere un rapporto apprezzabile con questa enorme velocità. Supponiamo, per esempio, che la velocità di accostamento sia di duemila chilometri al secondo: allora le onde cadranno con una velocità di 302 mila chilometri al secondo: per 300 onde che avrebbero raggiunto l'occhio, se non fosse avvenuto avvicinamento, 302 ora lo raggiungeranno. Così la larghezza di ciascuna sarà diminuita nel rapporto di 300 a 302. Similmente, se noi ci allontanassimo dalla fonte di luce colla velocità di 2000 chilom., la larghezza apparente di ciascuna onda luminosa sarebbe aumentata nella proporzione di 300 a 288. Ora la tavola seguente indica le lunghezze d'onda corrispondenti ai vari colori dello spettro:

Colore	Lungh. d'onda in mill.	Num. delle onde
Estremo rosso	0.000691	37640
Rosso	0.000649	39180
Ranciato	0.000610	41610
Giallo	0.000576	44000

Colore	Lungh. d'onda in mill.	Num. delle onde
Verde	0.000536	47460
Azzurro	0.000498	51110
Indaco	0.000476	54070
Violetto	0.000442	57490
Estremo violetto	0.000424	59750

Di guisa che, per far comparire ranciata la luce rossa, sarebbe richiesta una velocità di accostamento tale da diminuire la lunghezza d'onda nel rapporto di 610 a 649, ossia prossimamente di 15 a 16, vale a dire, un quindicesimo della velocità della luce; e l'enorme velocità testè immaginata, 2000 chilometri al secondo, non è che $\frac{1}{150}$ della velocità della luce, ossia circa $\frac{1}{10}$ di quella che sarebbe richiesta per cambiare la luce rossa in ranciata. Così dicasi degli altri cangiamenti. È probabile che nessuna delle velocità esistenti nei corpi celesti cambi la luce di un color definito in quella del colore vicino nei sette dello spettro, tanto verso il limite rosso che verso il violetto. In una cometa (quella del 1843) si riconobbe una velocità di rivoluzione di circa 480 chilometri al minuto secondo intorno al sole, nell'istante in cui essa gli era maggiormente vicina; e questa è la più grande velocità che gli astronomi abbiano sin qui riconosciuta.¹ Poichè anche una velocità tre volte maggiore non produrrebbe un

¹ Dopo la pubblicazione dell'originale comparve la grande cometa del 1882, la quale presentò la medesima velocità di 480 chilometri al minuto secondo, nel suo massimo avvicinamento al sole.

(Nota del Traduttore.)

cambiamento apprezzabile nel colore della luce di una determinata lunghezza d'onda, e poichè la luce delle stelle comprende tutte le lunghezze d'onda dello spettro, si riconoscerà affatto vana la speranza di riuscire alla stima dei movimenti di accostamento e discostamento mediante osservazioni del color della luce.

Ma, benchè non si possa notare alcun cangiamento di colore, si può osservare un cambiamento in tutto lo spettro, se le posizioni delle linee nere si osservano accuratamente. Tutto lo spettro è spostato se la sorgente di luce si allontana o si avvicina, e quindi tutte le linee nere sono spostate. Ora, se noi siamo sicuri che una linea nera nello spettro di una stella appartiene ad un dato elemento, noi ne possiamo paragonare la posizione con quella di questo elemento fisso, e così eventualmente scoprire un moto di avvicinamento o di discostamento da parte della stella.

Io credo che il primo accenno *pubblicato* a questo metodo possibile di stima dei moti di discostamento e di accostamento venga dalla mia penna. Nel *Fraser's Magazine* per il gennaio 1868, io dissi, in un articolo sulle stelle colorate, che gli effetti di un movimento abbastanza rapido per allungare od accorciare le onde luminose provenienti da una stella, dovevano essere « di cambiare la posizione dell'intero spettro, e che questo cambiamento doveva essere facilmente scoperto riferendosi alle linee dello spettro ». Pochi giorni dopo, il signor Huggins mi scrisse di essersi occupato per qualche tempo in tentativi per riconoscere tali cambiamenti; e quattro

mesi dopo egli comunicò alla Società Reale l'annuncio che con questo metodo egli era riuscito a scoprire un moto di discostamento nel caso della stella Sirio.¹ Un mese prima Secchi aveva annunciato di aver osservato Sirio con questo metodo, senza scoprirvi alcun segno di movimento. Effettivamente il suo spettroscopio non aveva potere dispersivo sufficiente.

L'istrumento adoperato da Huggins combinava tutto il potere dispersivo dato da due prismi composti a visione diretta e tre prismi semplici, due dei quali avevano un angolo rifrangente di sessanta gradi, il terzo di quarantacinque. Essendosi prima assicurato che la linea nera *F* nello spettro di Sirio (vedi frontispizio, spettro 10, confrontato collo spettro 1), corrisponde realmente alla linea *F* dell'idrogeno, egli ne esaminò accuratamente la posizione nello spettro della stella. La figura 64 illustra la natura dello spostamento da lui osservato. Lo spettro superiore mostra la posizione della linea *F* dell'idrogeno a bassa pressione; poi si mostra la larga linea

¹ La relazione di questa scoperta nel libro elementare di Lockyer sullo spettroscopio non è corretta. Egli dice che il signor Huggins rimase attonito nel vedere spostate le linee dell'idrogeno. Ciò indica un' imperfetta conoscenza dell'eccessiva difficoltà e delicatezza di questo metodo di osservazione, applicato ad una stella. Ben lungi dall'aver rivolto la sua attenzione a questa materia in seguito ad un inaspettato spostamento delle linee dell'idrogeno nello spettro di Sirio, il signor Huggins dovette costruire uno spettroscopio speciale per iscoprire tale spostamento, che era sfuggito all'attenzione di lui ed a quella del dott. Miller nelle loro investigazioni accurate sullo spettro della stella. La figura che illustra questo argomento nel libro sopra menzionato, è pure scorretta. (Nota dell'Autore.)

F nello spettro di Sirio, spostata verso il rosso. Viene poi la linea F nello spettro solare, e finalmente la linea stessa nello spettro dell'idrogeno alla pressione atmosferica. È importante badare a questi due ultimi spettri. Essi indicano

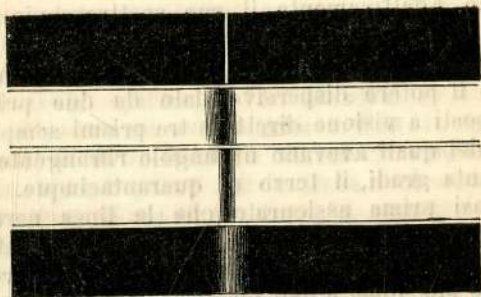


Fig. 64. — Spostamento della linea F nello spettro di Sirio.

ciò che fu osservato da Huggins, in conferma delle osservazioni precedenti di Plücker ed Hittorf, rispetto all'allargarsi di questa linea dell'idrogeno sotto aumento di pressione, cioè, che la linea si estende simmetricamente da ambo i lati della sua posizione iniziale. Quindi lo spostamento della linea F di Sirio non si può spiegare che con un movimento di Sirio; e, poichè lo spostamento è verso il rosso, la stella si allontana dalla terra. Il valore dello spostamento osservato indica un moto di discostamento di circa 67 chilometri al secondo. Ma, poichè la terra aveva allora un moto di discostamento da Sirio, dovuto alla propria rivoluzione nell'orbita, in ragione di

circa 19 chilometri al secondo, ne risulta un moto di allontanamento effettivo di circa 48 chilometri al secondo. Anche il sole è in movimento verso la costellazione di Ercole, benchè sia incerto a quanto ammonta questo movimento. Io non presto fede alla stima fatta da Otto Struve dell'ammontare di questo movimento, avendo saputo mostrare che le basi del suo ragionamento non sono fondate.¹ Stando alla sua stima l'allontanamento del sole da Sirio sarebbe verso i cinque chilometri al secondo, lasciando circa 43 chilometri al secondo per l'effettivo allontanamento di Sirio dalla parte dello spazio che noi stiamo attraversando. Io credo che una proporzione assai più larga del moto relativo di discostamento di Sirio sia dovuta al movimento del nostro sole. Del resto, comunque ciò sia, non è più dubbio che la distanza fra Sirio ed il sole va crescendo in ragione di circa cinquanta chilometri al secondo; perchè il risultato di Huggins è stato poi confermato da lui stesso con mezzi istrumentali migliori, ed anche dal signor Christiè all'Osservatorio di Greenwich.

Osservazioni successive del signor Huggins hanno fornito le indicazioni seguenti di movimenti stellari di discostamento ed accostamento:

¹ Questo giudizio dell'Autore non mi sembra qui giustificato da alcuna prova: lo traduco letteralmente, facendo per mio conto le più ampie riserve. (Nota del Traduttore.)

Stelle che si allontanano dal sole.

Stella	Moto apparente	Moto della Terra	Moto di allonta- namento dal sole
	kilom.	kilom.	kilom.
Sirio	42 a 56	— 16 a — 24	29 a 35
Betelgeux	59	— 24	35
Rigel	48	— 24	24
Castore	64 a 72	— 27	37 a 45
Regolo	48 a 56	— 29	19 a 27
β Orsa Maggiore	48	— 14 a — 21	27 a 34
δ »			
ϵ »			
γ »			
ξ »			

¹ La comunanza di movimento di queste cinque stelle fu una scoperta di interesse speciale per me, che l'aveva predetta più di un anno prima. Il mio studio sui moti propri stellari avendo indicata l'esistenza di movimenti progressivi nelle stelle — cioè, di casi nei quali gruppi di stelle si spostano insieme nello spazio — io scelsi un caso notevole, quello delle cinque stelle soprassegnate, come uno di quelli che si potevano utilmente trattare col metodo spettroscopico, tutte le stelle essendo brillanti; ed in una conferenza tenuta innanzi all'Istituzione Reale nel maggio 1870, espressi la mia fiducia che si dovesse trovare un moto di avvicinamento o di discostamento comune a tutte le stelle. Nel maggio 1871, io ricevetti una lettera dal signor Huggins,, che annunciava l'allontanarsi di tutte queste stelle, in ragione di circa 27 chilometri al minuto secondo.

(Nota dell'Autore.)

Stelle che si avvicinano al sole.

Stella	Moto apparente	Moto della Terra	Moto verso il sole
	kilom.	kilom.	kilom.
Arturo	80	+ 8	88
Vega	64 a 80	+ 6	70 a 86
α Cigno	48	+ 14	62
Polluce	51	+ 27	72
α Orsa Maggiore .	56 a 80	+ 18	74 a 98

Alcuni di questi risultati furono provati e confermati da osservazioni fatte a Greenwich.¹

Il metodo così adoperato sulle stelle era manifestamente applicabile al sole; e, non appena il metodo di Huggins per osservare le prominenze senza eclisse ebbe fatto vedere che la sostanza delle preminenze cambia spesso di posizione in ragione di molti chilometri per minuto secondo, era naturale che gli osservatori tentassero di verificare se la materia delle prominenze dava a volte le risultanze spettroscopiche

¹ Negli ultimi anni si proseguirono sistematicamente a Greenwich queste ricerche sulle stelle più importanti: vi attendono ora i signori Maunder e Nash. Il fatto più interessante accertato nel decennio 1875-85 è indubbiamente la graduale diminuzione della velocità di discostamento di Sirio, il quale da tre anni ha investito la direzione del suo moto, ed ora va avvicinandosi a noi con velocità crescente di anno in anno. Ciò fa credere ad un movimento di natura orbitale.

(Nota del Traduttore.)

di un moto di accostamento o di discostamento. L'applicazione del metodo spettroscopico è semplificata nel caso presente dal fatto che le linee di comparazione sono presenti contemporaneamente alle linee in movimento. Così, rappresenti SS' (fig. 65) una porzione della prominenza PP' che si esamina allo spettroscopio, e sia F la posizione della linea nera solare F , mentre la linea chiara che si vede sopra è la linea della prominenza, spostata verso il violetto. Così questo spostamento è riconosciuto. Oltre a ciò si può

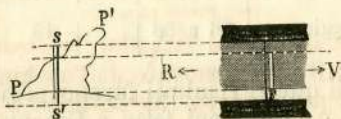


Fig. 65.

Cambiamento nella posizione della linea F di una prominenza, dovuto al movimento della materia della prominenza.

usare un poter dispersivo molto maggiore di quello che serve ad esaminare il debole spettro di una stella. Nel caso qui illustrato noi riconosceremo che la materia della prominenza si muove verso l'osservatore. Ciò corrisponderebbe all'avanzarsi in una direzione di tutta la materia della prominenza contenuta nella striscia SS' . Ordinariamente noi dobbiamo aspettarci, dopo ciò che abbiamo veduto dei cambiamenti che subisce la forma di una prominenza, di trovare diversamente affette le diverse parti della linea della prominenza. Così noi possiamo trovare le varietà di spostamenti indicate dalla fig. 66. Se la linea F della prominenza figura come in I,

noi diremo che l'idrogeno nella parte esaminata (entro la striscia SS') della prominenza solare (o della cromosfera), si avvicina all'occhio, ma più rapidamente dalla parte superiore, e punto alla superficie SS' del sole. Se la linea F appa-

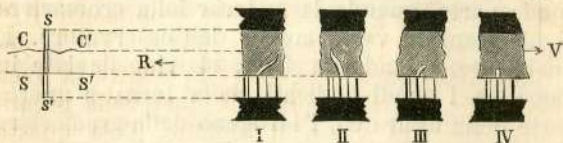


Fig. 66.

Indicazioni spettroscopiche di rapidi movimenti che si verificano nell'atmosfera solare.

risce come in II, noi faremmo la stessa conclusione circa il discostamento dall'occhio della materia della prominenza. Se la linea F apparisse come in III, ne dedurremmo che la metà superiore della materia della prominenza si allontana in massa, la metà inferiore si avvicina, ma non così rapidamente nelle sue parti più basse, e punto alla superficie del sole. Finalmente, se la linea F apparisse come in IV, ne dedurremmo che la metà inferiore della materia della prominenza non si avvicina nè si allontana, mentre la parte superiore entro il campo di visibilità è sollecitata da entrambi i movimenti, quasi che la parte a noi più vicina si allontani e la più lontana si avvicini, o viceversa. Come si è già veduto, la differente grossezza della linea F indicherebbe varietà di pressione e temperatura.

I risultati di effettive osservazioni sulla linea F delle prominenze possono essere così interpretati. La linea brillante F si è veduta come

nella prima parte della figura 66, quando l'idrogeno della cromosfera andava rapidamente avvicinandosi all'osservatore, essendo la deviazione verso destra, cioè verso l'estremo violetto dello spettro. Questa linea si è veduta come nella seconda parte, quando la materia della cromosfera si allontanava velocemente dall'osservatore. E finalmente, quando la linea si vide deviata in ambedue i modi indicati nella terza e quarta parte della figura 66, l'idrogeno della cromosfera si mosse rapidamente parte in un senso e parte nell'altro, rispetto all'osservatore, donde noi possiamo concludere che molto probabilmente si manifestava un ciclone solare. In taluni casi, nei quali fu esaminata una linea di prominenza, lo spettro mostrò che una parte della prominenza non si avvicinava all'osservatore nè se ne discostava, presentando la linea dell'idrogeno nella sua posizione normale, mentre una parte si andava rapidamente accostando all'osservatore, con velocità minore in basso, massima in alto.

Si verifica una circostanza che rende alquanto dubbie queste indicazioni di avvicinamento o di discostamento della materia di una prominenza o della cromosfera. Il prof. Young, di Dartmouth College, osservò che talora, quando la linea *F* di una prominenza ha dato segni notevoli di perturbazione, la linea *C* è rimasta tranquilla nella sua posizione normale. Questa osservazione suscita molte perplessità, e fa quasi supporre che l'idrogeno non sia realmente un elemento, ma un composto, e che la linea *F* appartenga ad un componente, la *C* ad un altro, essendo stati

separati l'un dall'altro dall'intensa luce del sole. Si può veramente superare la difficoltà in un altro modo, forse più soddisfacente, supponendo che, sotto le condizioni esistenti quando sorgono uragani solari, la linea *C* dell'idrogeno scompaia, di guisa che soltanto le parti relativamente tranquille diano questa linea e la *F*, e le parti sottoposte alla perturbazione diano questa soltanto.

È ovvio che, come le linee brillanti dell'idrogeno di una prominenza o della cromosfera possono col loro spostarsi indicare rapidi moti di accostamento e di allontanamento, così anche le linee nere dell'idrogeno appartenenti allo spettro solare possono indicare simili movimenti. Nel primo caso, i moti di accostamento e discostamento indicano moti orizzontali rispetto alla superficie del sole; nell'altro questi moti presentano più o meno carattere verticale, e quando la regione osservata è presso al centro del disco solare, essi sono quasi del tutto verticali. Ma

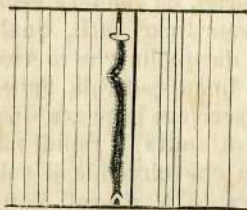


Fig. 67.

Evidenza spettroscopica di rapidi movimenti nell'atmosfera solare.

come lo studio telescopico e spettroscopico delle prominenze indica tanto moti orizzontali che verticali rispetto alla superficie del sole, noi possia-

mo attenderci di trovare indicazioni spettroscopiche di entrambe le specie di movimento. Lo spostamento delle linee nere è indicato nella fig. 67.

La striscia sottile di superficie solare sotto esame (vedi fig. 44) attraversa una macchia solare, e noi vediamo nell'aspetto della linea *F* dell'idrogeno i segni di perturbazione nella macchia. Alle estremità superiore ed inferiore questa linea è della sua larghezza normale; vengono poi due parti, l'una in alto e l'altra in basso, dove la linea è luminosa, mostrando l'intenso calore dell'idrogeno sul contorno della macchia. Sopra tutta la larghezza rimanente dello spettro la linea dell'idrogeno è molto più larga, ed è pure men definita del solito. In un posto noi la vediamo piegata verso l'estremo rosso dello spettro, indicando un rapido movimento di discostamento, il che significa, il rapido sprofondarsi dell'idrogeno negli abissi della macchia.

I movimenti nell'atmosfera del sole risultano di qui così enormi, da rendere necessaria, a conferma di sì straordinari fatti, qualche dimostrazione, diversa da quella che si ricava dallo spostamento delle linee spettrali. Pare quindi questo il luogo di descrivere la prova diretta più stringente sin qui ottenuta di rapidi movimenti nella materia gassosa che circonda il sole.

Il 7 settembre 1871, il prof. Young (che allora era a Darmouth College, Hanover, nella Nuova Hampshire, ed ora è a Princeton), osservò col metodo spettroscopico, descritto a pag. 75, la lunga e bassa nube di idrogeno incandescente, rappresentata nella fig. 68. « Essa era rimasta

con piccolissimo cambiamento, » egli dice « sin dal mezzogiorno precedente — una nube lunga, bassa, di apparenza tranquilla, non molto densa, nè brillante, nè in alcun modo degna di nota fuorchè per la sua estensione. Essa era composta principalmente di filamenti quasi orizzontali,

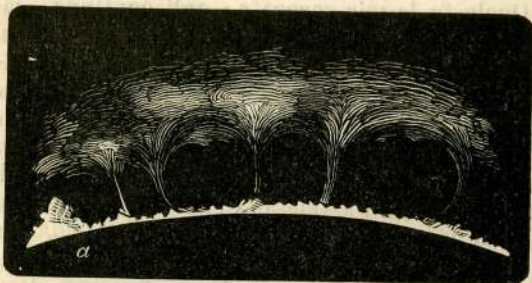


Fig. 68.

Nube di idrogeno ardente vista da Young, il 7 Settembre 1871,
a 12 ore e mezza.

e scorreva sopra la cromosfera colla sua superficie inferiore alta circa 24000 chilometri, ma le era connessa, come avviene comunemente, mediante tre o quattro colonne verticali più brillanti e più attive del rimanente... » In lunghezza essa misurava circa 160000 chilometri; in altezza, cioè dalla superficie del sole all'estremo più alto della nube, circa 86000. « Alle 12 e 30 » continua Young « quando io fui chiamato via per pochi minuti, non vi era indizio di quanto stava per avvenire, tranne che uno dei sostegni verticali dell'estremità meridionale della nube si era fatto notevolmente più brillante e contorto curiosa-

mente da una parte; e presso la base di un altro all'estremo boreale si era sviluppata una piccola massa luminosa, di forma assai simile ad un cumulo temporalesco estivo. » La fig. 68 rappresenta la prominenza a quel momento, dove *a* è il cumulo anzidetto.

« Quale fu la mia sorpresa » egli continua « ritornando men di mezz'ora dopo (alle 12 e 55), al trovare che nel frattempo il tutto era letteralmente scoppiato e frantumato da non so quale inconcepibile eruzione dal basso! In luogo della placida nube da me lasciata, l'aria, se mi è permesso adoperare questa espressione, era piena di *débris* volanti, un ammasso di filamenti fusiformi verticali staccati » lunghi ciascuno da 7000 a 20,000 chilometri, e larghi da 1400 a 2000 all'incirca, più luminosi e più vicini fra loro dove prima erano i sostegni, e dotati di rapido movimento ascensionale. « Quando io incominciai a guardare, alcuni di essi avevano già un'altezza di circa 160000 chilometri, e mentre io li osservava essi si alzarono con un movimento quasi percettibile all'occhio, finchè dopo dieci minuti (alla una e cinque minuti) la parte superiore era a più di 320000 chilometri dalla superficie solare. Questo fu accertato con misure accurate. « La media di tre determinazioni strettamente concordi diede circa 331200 chilometri per valore dell'altezza estrema raggiunta da questi meravigliosi filamenti o fuochi fatui d'idrogeno incandescente, il più piccolo dei quali aveva una superficie di gran lunga superiore a quella delle Isole Britanniche.

La velocità di ascesa, più di 160000 chilometri in dieci minuti, ovvero 266 chilometri al secondo, è maggiore di ogni velocità che sin qui sia stata determinata collo spostamento delle linee nello spettro solare.

La fig. 69 rappresenta l'aspetto dei filamenti



Fig. 69.

La stessa regione di prominenza ad un' ora e 3 minuti pom.

d'idrogeno quando alcuni di essi avevano raggiunta la massima altezza osservata. Man mano che si andavano innalzando, essi si dissiparono

gradatamente, ed alla una ed un quarto solo pochi fuochi sottili, con alcuni getti più brillanti già presso la cromosfera, rimasero ad indicare il posto. Ma nel frattempo il piccolo cumulo temporalesco sopra citato si era meravigliosamente mosso e sviluppato in una massa di fiamme oscillanti e sempre mutabili, per parlare secondo le apparenze. Dapprima essa si era curvata all'ingiu', lungo la superficie solare, sulla quale essa era; poi si sollevò a guisa di piramide per 80000 chilometri di altezza; allora la sua sommità era formata di lunghi filamenti curiosamente girati da una parte e dall'altra, come le volute di un



Fig. 70. — La stessa, ad un' ora e 40 minuti pom.

capitello ionico; e finalmente essa si dissipò, ed alle due e mezza era svanita come il resto. Le fig. 70 e 71 ne mostrano il completo sviluppo, la prima essendo stata presa alla 1 e 40, la seconda alla 1 e 55 minuti.

Tutta questa prominenza ci dà nel modo più convincente l'idea di una esplosione sotto la grande prominenza, che agisce prevalentemente di basso in sù, ma anche in tutte le direzioni all'ingiro, e quindi, dopo un intervallo, seguita da

un inabissamento corrispondente; e non pare impossibile, che i pennacchi misteriosi della corona, che furono ora dimostrati realmente solari, possano trovare la loro origine e la loro spiegazione in questi fenomeni ».

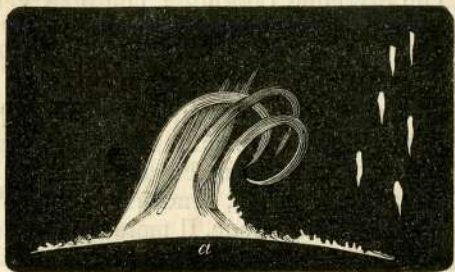


Fig. 71. — La stessa, ad un' ora e 55 minuti pom.

La prova che queste tremende eruzioni diedero dei rapidi movimenti all'atmosfera solare si trova essere più convincente quando la si esamini accuratamente, di quello che sembri sul principio. Quando fu pubblicato per la prima volta il resoconto del prof. Young, io feci un calcolo, sulle circostanze nelle quali la materia espulsa dal sole deve esser salita sino all'altezza osservata in quel caso da Young — occupando dieci minuti a passare dall'altezza di 160 a quella di 320000 chilometri — e trovai che questo non può essere avvenuto se la materia non ha (come era da attendere) incontrato resistenza da parte dell'atmosfera attraversata. Espulsa con una velocità che bastasse appunto a portarla ad un'altezza di 320000 chilometri, essa avrebbe (come io trovai)

speso assai più di dieci minuti per traversare la metà superiore del suo corso eruttivo. Essa deve quindi essere stata espulsa con una velocità assai maggiore, la quale, essendo stata ridotta dalla resistenza atmosferica, la portò solo a quell'altezza, che avrebbe raggiunta con una velocità inferiore non ridotta da tale resistenza. L'investigazione matematica delle condizioni mostrò che la velocità iniziale deve aver superato i 480 chilometri per secondo, e può aver superato gli 800 chilometri. Naturalmente noi non sappiamo *con certezza* che in quell'occasione sia stata espulsa materia del sole, benchè sia difficile suggerire un'altra spiegazione. Il moto apparente dell'idrogeno incandescente può aver dovuto la sua origine, e molto probabilmente la dovette, non al moto effettivo dell'idrogeno stesso, ma allo scorrere attraverso all'idrogeno stesso di proiettili (solidi, liquidi o densi vapori) scagliati dall'interno del sole. Questi, nell'attraversare rapidamente l'idrogeno dell'atmosfera solare, debbono averlo tanto riscaldato, per attrito, da farlo infiammare con intenso splendore. In questo caso, l'incandescenza dei filamenti d'idrogeno darebbe la prova della resistenza, dimostrata nella mia investigazione matematica delle circostanze del moto eruttivo. I filamenti stessi si assomiglierebbero ai fuochi, che appaiono come striscie di materia scorrente, visibili spesso dopo il passaggio di una grande massa meteorica attraverso alla nostra atmosfera.

Simili osservazioni si applicano poi ad altri casi di moto apparente dell'idrogeno solare.

Questo può essere dovuto al rapido scorrere attraverso l'idrogeno di materiali che lo facciano splendore di luce intensa nei punti dove in quel momento essi passano.

Tutto l'argomento della prova spettroscopica di rapidi movimenti verso l'osservatore o in senso contrario fu ripreso in esame recentemente, in conseguenza di alcuni dubbj avanzati dal Secchi e da altri, i quali non solo non riuscirono ad ottenere risultati simili a quelli sopra descritti, ma sembra vogliano mettere in dubbio i principi matematici, donde il metodo dipende. A Greenwich, sotto la soprintendenza generale dell'astronomo Reale, aiutato dalla grande esperienza del signor Huggins, questo metodo è stato applicato di nuovo alle stelle, ed anche a misurare alcuni movimenti conosciuti di avvicinamento e di discostamento, quali sono quelli dovuti alla rotazione del sole, a quella di Giove, al movimento di Venere, e così via. Secchi non riuscì ad ottenere con questo metodo alcuna prova della rotazione del sole. Ciò non deve fare grande meraviglia, visto che i punti all'equatore solare non percorrono che circa 1600 metri al secondo, il che, quantunque enorme rispetto a tutte le forme di movimento che ci sono famigliari, è insignificante rispetto agli altri movimenti dei quali questo metodo ha potuto dare a stento la prova. Gli osservatori di Greenwich, dopo aver fatti lunghi sforzi, inani per la difficoltà del compito loro, riuscirono infine a riconoscere la rotazione del sole mediante il metodo spettroscopico, scoperta non nuova, certamente, ma vero trionfo di

accurata osservazione. Non si deve credere che essi siano semplicemente riusciti a vedere ciò che essi sapevano di dover vedere se il metodo era buono ed i loro mezzi strumentali sufficienti. Le osservazioni furono condotte in guisa che l'osservatore il quale doveva leggere i dati dello spettroscopio non aveva certezza della direzione in cui esso era puntato. Per la parte del sole che si stava esaminando, si dava il cambio da un assistente osservatore da una parte, dove la rotazione portava la superficie solare verso l'osservatore, all'altra, dove la rotazione gliela allontanava, senza avvisare del cambio. I risultati diedero il più soddisfacente accordo colla teoria.

Prima che gli osservatori di Greenwich, accintisi più presto a questo compito, riuscissero nel loro intento, il prof. Young, colla forza relativamente esigua del telescopio di Dartmouth College a sua disposizione, ma adoperando uno spettroscopio di grande potere dispersivo, col combinare la dispersione di una batteria di prismi con quella dovuta alla riflessione della luce da un fitto graticolato di linee sottili,¹ riuscì a misurare la rotazione del sole. Effettivamente, i

¹ Il dott. Rutherford, di Nuova York, riuscì a regolare il vetro in questo modo, formando i così detti graticci, così bene che, grazie alla proprietà chiamata diffrazione, si forma uno spettro di grande purezza (in un modo troppo complicato perchè lo si possa spiegare in queste pagine). Uno spettro di diffrazione così formato ha il vantaggio sopra lo spettro di rifrazione di disperdere i raggi veramente secondo la loro lunghezza d'onda; e di fatto, fu per mezzo di tali graticci che Ångström ha determinato la vera lunghezza d'onda appartenente a differenti parti dello spettro. (Nota dell'Autore).

suoi risultati furono molto più soddisfacenti di quelli ottenuti a Greenwich, tantochè egli disse aver ragione di credere che questo metodo possa bastare ad indicare anche la differenza di velocità rotatoria fra la parte visibile del sole, e gli strati di vapore che producono gli strati di assorbimento. Probabilmente nel campo delle ricerche spettroscopiche non si è ancora fatto nulla di più delicato di queste ricerche del professore Young.

Gli osservatori di Greenwich riuscirono pure a misurare in modo soddisfacente con questo metodo la rotazione di Giove, ed il movimento di Venere lungo la visuale. Il metodo stesso applicato alla luna non dà, come è giusto, alcun segno di allontanamento nè di avvicinamento; infatti la luna non ha un movimento tale che questo metodo lo possa misurare.

Le osservazioni stellari di Greenwich indicano moti di allontanamento e di avvicinamento che si accordano bene con quelli determinati dal signor Huggins, ma ancor molto si deve fare prima che si possa anche dai più esperti spettroscopisti compiere molto nella misura dei movimenti stellari, con questo metodo estremamente difficile e delicato di osservazione.

La mala riuscita di Secchi e di altri che tentarono di applicare questo metodo vuolsi attribuire interamente alla sua difficoltà, non, come pare credano alcuni di essi, a qualche errore inerente al metodo stesso.

Per certo nessuna applicazione dell'analisi spettroscopica fu più stringente o più promettente di

questo metodo per determinare i movimenti di accostamento e di discostamento, benchè si debba ammettere che il metodo è tanto delicato che noi non possiamo al presente sperare di vederlo applicato a misurare alcun movimento, tranne quelli di rapidità enorme.

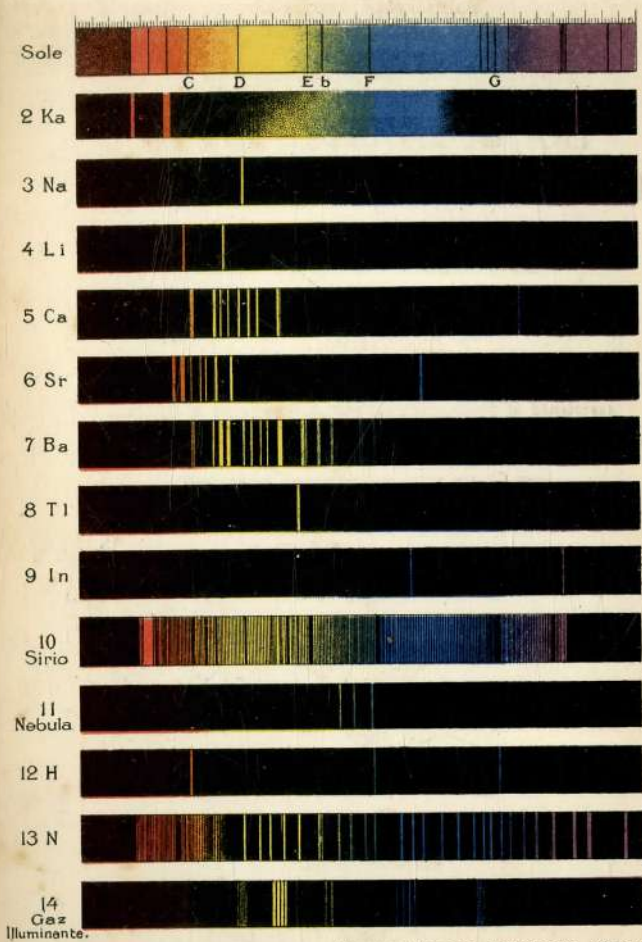


1649

GDS

THE
LIBRARY OF THE
MUSEUM OF NATURAL HISTORY
AND
ZOOLOGY
OF THE
CITY OF BOSTON
1881

CARTA DI SPETTRI



ULRICO HOEPLI, Editore in Milano.